



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE HIDROCIENCIAS

ANÁLISIS DE PARÁMETROS HIDROLÓGICOS PARA LA CALIBRACIÓN DEL MODELO KINEROS EN DOS MICROCUENCAS DEL TRÓPICO HÚMEDO

SERGIO MIGUEL LÓPEZ RAMÍREZ

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2015

La presente tesis titulada: **Análisis de parámetros hidrológicos para la calibración del modelo KINEROS en dos microcuencas del trópico húmedo**, realizada por el alumno: **Sergio Miguel López Ramírez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
HIDROCIENCIAS


CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. MARIO ROBERTO MARTÍNEZ MENES

ASESOR



DR. JOSÉ REYES SÁNCHEZ

ASESOR



DR. JÜRGEN BAUMANN

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Junio de 2015

Análisis de parámetros hidrológicos para la calibración del modelo KINEROS en dos microcuencas del trópico húmedo

Sergio Miguel López Ramírez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

La relación lluvia - escurrimiento y la calibración del modelo hidrológico de base física *Kinematic Runoff and Erosion Model* (KINEROS), en dos microcuencas del trópico húmedo (5.37 y 6.34 ha), cubiertas mayormente por pastizales fueron estudiados en esta investigación. Se usó un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) con un metro de resolución, un estudio edafológico, y datos de flujo base, pluviógramas y limnigramas del año 2013.

El flujo base en ambas microcuencas representó más del 42 % del escurrimiento anual y los coeficientes de escurrimiento promedio fueron de 0.12 y 0.14, y los máximo de 0.62 y 0.54 para las microcuencas 02 y 09, respectivamente.

La calibración del modelo KINEROS consistió en el ajuste de los parámetros: saturación inicial (SI), conductividad hidráulica saturada (Ks), unidad de capilaridad neta efectiva (G), y coeficiente de rugosidad de Manning (n) para cada evento. El modelo no permitió calibrar el volumen escurrido por evento, solo el gasto pico, ya que el flujo subsuperficial tuvo influencia en los hidrogramas de cinco eventos. La comparación entre el gasto pico observado y el simulado tuvo una diferencia porcentual menor de 5% en seis de los siete eventos analizados. En la validación del modelo, con todos los eventos analizados, los grupos de parámetros definidos en la calibración por evento tuvieron un ajuste insuficiente (Nash y Sutcliffe < 0). El modelo utilizó valores de SI cercanos a la saturación inicial máxima y mostró alta sensibilidad al parámetro Ks y baja sensibilidad en los parámetros G y n .

Palabras clave: modelo distribuido de cuenca, flujo hortoniano, precipitación-escurrimiento, flujo subsuperficial, conductividad hidráulica saturada.

Analysis of hydrological parameters to calibrate the KINEROS model in two micro-watershed of the humid tropics

Sergio Miguel López Ramírez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2015

Rainfall-runoff relationship and calibration of the physically based hydrological model Kinematic Runoff and Erosion Model (KINEROS), in two small catchments of the humid tropics (5.37 and 6.34 ha), mostly covered by pastures, were studied in this research. A digital elevation model (DEM) at 1-meter resolution, a soil survey, pluviograph data, hydrographs and base flow for the year 2013 were used.

Base flow accounted for more than 42 % of annual runoff in the catchments and the runoff coefficients revealed averages of 0.12 and 0.14, and maximum of 0.62 and 0.54 for the catchments 02 and 09, respectively.

The calibration of KINEROS model consisted on the setting of the parameters: initial relative saturation (SI), saturated hydraulic conductivity (Ks), effective net capillary drive (G), and Manning's roughness coefficient (n) in each event. It was not possible to calibrate the event volume in the model, only peak flow, because the subsurface flow had a strong influence on the hydrographs of five events. The comparison of observed versus simulated peak flow showed a difference less than 5 % in six of seven events. In the validation of the model, with all the analyzed events, the groups of parameters defined in the calibration by each event had an insufficient performance (Nash and Sutcliffe < 0). SI values were very close to the maximum initial saturation and the model had high sensitivity in the Ks parameter and low sensitivity in the parameters G and n .

Key words: distributed watershed model, hortonian flow, rainfall-runoff, subsurface flow, saturated hydraulic conductivity.

Agradecimientos

A Dios por darme la vida.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el apoyo económico, durante la realización de mis estudios de posgrado.

Al Colegio de Postgraduado, por haberme dado la oportunidad de seguir mi formación académica.

A la Comisión Nacional del Agua, por brindarme las facilidades y la información para realizar esta investigación.

A los integrantes de mi Consejo Particular:

- Dr. Mario Martínez Menes, por su dirección y motivación para concluir este trabajo;
- Dr. Reyes Sánchez José, por sus observaciones y consejos para la realización del trabajo;
- Dr. Jürgen Baumann, por sus comentarios y revisión detallada del trabajo.

A los investigadores del *USDA-ARS Southwest Watershed Research Center*: Philip Heilman, David Goodrich, Shea Burns, Mariano Hernández, Phil Guertin, Carl Unkrich y Gabriel, por su hospitalidad y excelente apoyo técnico, el cual me fue brindado incondicionalmente durante mi estancia.

A mis compañeros, amigos y seres queridos que me apoyaron en esta tesis: Osiel L., Eduardo J., Gabriel T., Gabriel D., Gerardo C., Adolfo L., Pablo H., Mary H., Vicente P., Claudio L., Alberto G., Vladimir L., Maurilio G., Nicolasa A., Sandra G., Maria I., Esteban M., Diana I., por el ánimo y apoyo que me dieron.

Dedicatoria

A mis **padres:** María López y Gabriel Pazarán, por todo su amor y apoyo.

A mis **hermanos:** Silvia, Cristina, Juan Carlos, Fernando, Selene, Pilar y Laura.

A mis **sobrinos:** Sebastián, Yarely, Alondra.

Y a mis **compañeros del grupo:** Esteban, Amanda, Jesús, Narciso, Jonás, Ismael y Alejandro.

Contenido

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Introducción | 1 |
| 1.1 | Planteamiento del problema | 1 |
| 1.2 | Objetivos | 2 |
| 1.3 | Hipótesis | 2 |
| 1.4 | Supuestos | 3 |
| 1.5 | Ubicación del sitio | 3 |
| 2 | Revisión de literatura | 6 |
| 2.1 | Relación lluvia-escorrentamiento en pequeñas microcuencas | 6 |
| 2.2 | Modelos | 7 |
| 2.2.1 | Clasificación general de modelos | 7 |
| 2.2.2 | Tipos de modelos matemáticos | 8 |
| 2.3 | Selección del modelo | 10 |
| 2.4 | Calibración de parámetros hidrológicos | 10 |
| 3 | Estructura del modelo | 14 |
| 3.1 | KINEROS (del ingl. <i>Kinematic Runoff and Erosion Model</i>) | 14 |
| 3.2 | Procesos simulados por el modelo KINEROS | 14 |
| 3.2.1 | Lluvia | 14 |
| 3.2.2 | Intercepción | 15 |
| 3.2.3 | Infiltración | 16 |
| 3.2.4 | Flujo superficial hortoniano | 17 |
| 3.2.5 | Tránsito en canales | 18 |
| 3.3 | Herramienta AGWA (del ingl. <i>Automated Geospatial Watershed Assessment</i>) | 19 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4 | Materiales y métodos | 20 |
| 4.1 | Obtención de la información | 20 |
| 4.1.1 | Topografía | 20 |
| 4.1.2 | Uso del suelo | 22 |
| 4.1.3 | Procedimiento metodológico para estudio de suelos | 22 |
| 4.1.4 | Suelos | 24 |
| 4.1.5 | La red de drenaje | 26 |
| 4.1.6 | Precipitación | 27 |
| 4.1.7 | Escurrimiento | 28 |
| 4.1.8 | Medición del flujo base | 30 |
| 4.2 | Corrida del modelo | 30 |
| 4.3 | Valores iniciales de parámetros | 31 |
| 4.4 | Calibración | 33 |
| 4.4.1 | Criterios para calibrar el modelo en zonas húmedas | 33 |
| 4.4.2 | Proceso de calibración | 34 |
| 5 | Resultados | 35 |
| 5.1 | Balance de agua | 35 |
| 5.2 | Relación precipitación- escurrimiento | 37 |
| 5.3 | Ejemplo de la calibración para un evento de lluvia | 41 |
| 5.4 | Comparación entre escurrimientos observados y simulados | 44 |
| 5.5 | Calibración del modelo KINEROS en la Microcuenca 09 | 45 |
| 5.5.1 | Calibración del modelo por eventos | 45 |
| 5.5.2 | Calibración del modelo utilizando los parámetros simulados para la Microcuenca 09 | 48 |
| 5.6 | Calibración del modelo KINEROS en la Microcuenca 02 | 50 |
| 5.6.1 | Calibración del modelo por eventos | 50 |

| | | |
|-------|---|----|
| 5.6.2 | Calibración del modelo utilizando los parámetros simulados para la Microcuenca 02 | 53 |
| 6 | Conclusiones y recomendaciones | 54 |
| 7 | Anexos | 55 |
| 7.1 | Anexo 1. Multiplicadores de calibración para las tormentas | 55 |
| 7.1.1 | Multiplicadores para tormentas de la Microcuenca 09 | 55 |
| 7.1.2 | Multiplicadores para tormentas de la Microcuenca 02 | 58 |
| 7.2 | Anexo 2. Parámetros de KINEROS | 61 |
| 7.2.1 | Parámetros de KINEROS para la Microcuenca 02 | 61 |
| 7.2.2 | Parámetros de KINEROS para la Microcuenca 09 | 64 |
| 7.3 | Anexo 3. Perfiles de suelos | 68 |
| 7.4 | Anexo 4. Pluviógramas | 74 |
| 7.4.1 | Microcuenca 02 | 74 |
| 7.4.2 | Microcuenca 09 | 79 |
| 7.5 | Anexo 5. Limnigramas | 82 |
| 7.5.1 | Microcuenca 02 | 82 |
| 7.5.2 | Microcuenca 09 | 87 |
| 8 | Referencias | 90 |
| | | 90 |

Lista de figuras

| | | |
|----|---|----|
| 1 | Ubicación de la Microcuenca 02. | 4 |
| 2 | Ubicación de la Microcuenca 09. | 5 |
| 3 | Clasificación de modelos. | 9 |
| 4 | Eventos similares mostrando inadecuados valores iniciales de humedad en el suelo. | 11 |
| 5 | Resultados para la Microcuenca LH-104 (izquierda) y P-3 (derecha). | 12 |
| 6 | Cambio en la producción de sedimentos y en el gasto pico ocasionados por cambios en los parámetros seleccionados (Memarian <i>et al.</i> , 2012). | 13 |
| 7 | Elementos topográficos y la topografía de la red de canales simplificados en KINEROS, obtenido de Goodrich <i>et al.</i> (2012). | 15 |
| 8 | Esquema del flujo superficial en un plano. | 18 |
| 9 | Mapa de pendiente y elevaciones de la Microcuenca 02. | 21 |
| 10 | Histogramas de pendientes de las Microcuencas 02 (A) y 09 (B), respectivamente. | 21 |
| 11 | Mapa de pendiente y elevaciones de la Microcuenca 09. | 22 |
| 12 | Pruebas en campo y laboratorio de suelos de la microcuenca 02 | 23 |
| 13 | Perfil de suelo y vegetación de la microcuenca 02 Chapultenango | 25 |
| 14 | Perfil de suelo y vegetación de la Microcuenca 09 Sunuapa | 26 |
| 15 | Perfil longitudinal del cauce de las Microcuencas 02 (A) y 09 (B). | 27 |
| 16 | Pluviógrafo en la Microcuenca 02. | 28 |
| 17 | Aforador tipo H4.5 en funcionamiento. | 29 |
| 18 | Procesamiento de información del limnógrafo. | 30 |
| 19 | Discretización de elementos de la Microcuenca 02. | 31 |
| 20 | Discretización de elementos de la Microcuenca 09. | 32 |
| 21 | Datos de lluvia, escurrimiento y flujo base de la Microcuenca 02. | 35 |
| 22 | Datos de lluvia, escurrimiento y flujo base de la Microcuenca 09. | 36 |

| | | |
|----|--|----|
| 23 | Precipitación- escurrimiento. | 38 |
| 24 | Proceso de mejora en la predicción del gasto simulado. | 42 |
| 25 | Separación del flujo hortoniano y subsuperficial. | 45 |
| 26 | Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 10 de jul. . . . | 46 |
| 27 | Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 14 de agosto . | 46 |
| 28 | Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 17 de ago. . . | 47 |
| 29 | Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 02 de nov. . . | 50 |
| 30 | Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 03 de nov. . . | 51 |
| 31 | Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 12 de dic. . . . | 51 |
| 32 | Perfil 1 de la Microcuenca 02. | 70 |
| 33 | Perfil 2 de la Microcuenca 02. | 71 |
| 34 | Perfil 1 de la Microcuenca 09. | 72 |
| 35 | Perfil 2 de la Microcuenca 09. | 73 |

Lista de cuadros

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Localización de perfiles. | 23 |
| 2 | Características físicas y químicas del suelo en la Microcuenca 02. . . . | 25 |
| 3 | Características físicas y químicas del suelo en la Microcuenca 09. . . . | 26 |
| 4 | Valores iniciales para parámetros de cobertura en laderas de ambas microcuencas. | 32 |
| 5 | Valores iniciales para parámetros del suelo. | 33 |
| 6 | Balance de agua para la Microcuenca 02. | 36 |
| 7 | Balance de agua para la Microcuenca 09. | 36 |
| 8 | Eventos seleccionados para la Microcuenca 02. | 39 |
| 9 | Eventos seleccionados para la Microcuenca 09. | 41 |
| 10 | Primer grupo de multiplicadores de parámetros Ks y G en las laderas. | 42 |
| 11 | Segundo grupo de multiplicadores de parámetros Ks y G en las laderas. | 43 |
| 12 | Tercer grupo de multiplicadores de parámetros Ks y G en las laderas. | 43 |
| 13 | Grupo de multiplicadores del parámetro n | 44 |
| 14 | Parámetros calibrados por eventos para la Microcuenca 09. | 48 |
| 15 | Evaluación de parámetros mediante NSE. | 49 |
| 16 | Parámetros calibrados por eventos para la Microcuenca 02 | 52 |
| 17 | Evaluación de parámetros mediante NSE. | 53 |
| 18 | Grupo 1 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013. | 55 |
| 19 | Grupo 2 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013. | 55 |
| 20 | Grupo 3 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013. | 55 |
| 21 | Grupo 4 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013. | 56 |
| 22 | Grupo 1 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013. | 56 |
| 23 | Grupo 2 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013. | 56 |
| 24 | Grupo 3 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013. | 56 |

| | | |
|----|---|----|
| 25 | Grupo 4 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013. | 57 |
| 26 | Grupo 1 de multiplicadores para el 17 de agosto de 2013. | 57 |
| 27 | Grupo 2 de multiplicadores para el 17 de agosto de 2013. | 57 |
| 28 | Grupo 3 de multiplicadores para el 17 de agosto de 2013. | 57 |
| 29 | Grupo 1 de multiplicadores para el 02 de nov. de 2013. | 58 |
| 30 | Grupo 2 de multiplicadores para el 02 de nov. de 2013. | 58 |
| 31 | Grupo 3 de multiplicadores para el 02 de nov. de 2013. | 58 |
| 32 | Grupo 1 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013. | 59 |
| 33 | Grupo 2 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013. | 59 |
| 34 | Grupo 3 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013. | 59 |
| 35 | Grupo 4 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013. | 59 |
| 36 | Grupo 1 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013. | 60 |
| 37 | Grupo 2 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013. | 60 |
| 38 | Grupo 3 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013. | 60 |
| 39 | Grupo 4 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013. | 60 |
| 40 | Características del suelo en el perfil número 1 de la Microcuenca 02. . | 68 |
| 41 | Características del suelo en el perfil número 2 de la Microcuenca 02. . | 68 |
| 42 | Características del suelo en el perfil número 1 de la Microcuenca 09. . | 68 |
| 43 | Características del suelo en el perfil número 2 de la Microcuenca 09. . | 69 |
| 44 | Pichucalco 02 Chapultenango enero 2013. | 74 |
| 45 | Pichucalco 02 Chapultenango febrero 2013. | 74 |
| 46 | Pichucalco 02 Chapultenango abril 2013. | 74 |
| 47 | Pichucalco 02 Chapultenango mayo 2013. | 75 |
| 48 | Pichucalco 02 Chapultenango junio 2013. | 75 |
| 49 | Pichucalco 02 Chapultenango julio 2013. | 76 |
| 50 | Pichucalco 02 Chapultenango agosto 2013. | 76 |

| | | |
|----|--|----|
| 51 | Pichucalco 02 Chapultenango septiembre 2013. | 77 |
| 52 | Pichucalco 02 Chapultenango octubre 2013. | 77 |
| 53 | Pichucalco 02 Chapultenango noviembre 2013. | 78 |
| 54 | Pichucalco 02 Chapultenango diciembre 2013. | 78 |
| 55 | El Platanar 09 Sunuapa abril 2013. | 79 |
| 56 | El Platanar 09 Sunuapa julio 2013. | 79 |
| 57 | El Platanar 09 Sunuapa agosto 2013. | 80 |
| 58 | El Platanar 09 Sunuapa septiembre 2013. | 80 |
| 59 | El Platanar 09 Sunuapa octubre 2013. | 81 |
| 60 | El Platanar 09 Sunuapa noviembre 2013. | 81 |
| 61 | El Platanar 09 Sunuapa diciembre 2013. | 81 |
| 62 | Pichucalco 02 Chapultenango abril 2013. | 82 |
| 63 | Pichucalco 02 Chapultenango mayo 2013. | 82 |
| 64 | Pichucalco 02 Chapultenango junio 2013. | 83 |
| 65 | Pichucalco 02 Chapultenango julio 2013. | 84 |
| 66 | Pichucalco 02 Chapultenango agosto 2013. | 84 |
| 67 | Pichucalco 02 Chapultenango septiembre 2013. | 85 |
| 68 | Pichucalco 02 Chapultenango octubre 2013. | 85 |
| 69 | Pichucalco 02 Chapultenango noviembre 2013. | 86 |
| 70 | Pichucalco 02 Chapultenango diciembre 2013. | 86 |
| 71 | El Platanar 09 Sunuapa mayo 2013. | 87 |
| 72 | El Platanar 09 Sunuapa junio 2013. | 87 |
| 73 | El Platanar 09 Sunuapa julio 2013. | 88 |
| 74 | El Platanar 09 Sunuapa agosto 2013. | 88 |
| 75 | El Platanar 09 Sunuapa septiembre 2013. | 88 |
| 76 | El Platanar 09 Sunuapa octubre 2013. | 89 |

| | | |
|----|--|----|
| 77 | El Platanar 09 Sunuapa noviembre 2013. | 89 |
| 78 | El Platanar 09 Sunuapa diciembre 2013. | 89 |

1 Introducción

1.1 Planteamiento del problema

En América Latina, el cambio climático está influenciando en el incremento de la frecuencia de eventos extremos con fuertes precipitaciones o temperaturas extremas durante pocas horas o varios días (Magrin *et al.*, 2007). Sin embargo, se conoce poco sobre las relaciones entre el manejo de bosques y su capacidad reguladora de los procesos hidrológicos en el trópico húmedo; esta falta de investigación es contradictoria con la idea de que el bosque tropical ejerce una amplia influencia en la precipitación, el clima y el sistema climático global (Brooks *et al.*, 2003).

El cambio de uso del suelo es un factor clave de degradación del ambiente que agudiza los impactos negativos del cambio climático (Magrin *et al.*, 2014). En las últimas décadas, en el sureste mexicano grandes áreas de selva alta perennifolia en pendientes ligeras y pronunciadas se han deforestado y transformado en pastizales, para introducir ganadería, lo cual ha ocasionado efectos negativos como la erosión y la pérdida de capacidad de las cuencas para regular los flujos de agua (CONAGUA, 2009). Según datos de uso de suelo y vegetación de la Serie V (INEGI, 2013), actualmente las cuencas de los ríos Pichucalco y Platanar están cubiertas en más del 64 % de su superficie por pastizal.

Han *et al.* (2012) señalan que los mecanismos que controlan el escurrimiento son propios de cada sitio, por lo cual es importante identificar y caracterizar el tipo de flujo que controla el escurrimiento para cada caso particular. Por su parte, Brooks *et al.* (2003) analizó alrededor de 36 hidrogramas de tormentas en pequeñas microcuencas con áreas entre 1.86 y 1.62 ha, y encontró que el flujo pico respondía con un retraso de 5 min., en comparación con el flujo pico en lotes de escurrimiento. Concluyó que el flujo en macroporos (pipeflow) era la única explicación para este tipo de respuesta rápida.

En hidrología, se requiere el uso de modelos para transferir la teoría al "mundo real" y comparar datos empíricos, mediante la manipulación del modelo. Esta comparación puede revelar procesos que no se consideran en las teorías existentes y puede sugerir el desarrollo de otras; los modelos hidrológicos de base física son apropiados para este fin (Bable y Karssenberg, 2013). El modelo KINEROS pertenece a este grupo, ya que utiliza los principios físicos de conservación de masa y momento, y requiere de una serie de parámetros que son medibles (Xu, 2002). El modelo KINEROS se diseñó para zonas áridas (Woolhiser *et al.*, 1990). Sin embargo, ingenieros e investigadores lo usan en áreas tropicales (Vázquez (2012), Bisri *et al.* (2008), Massart *et al.* (2010)).

El modelo KINEROS se ha evaluado y calibrado en diferentes condiciones. Burns

(2010) lo calibró en la cuenca experimental Walnut Gulch, Tombstone, Arizona, Estados Unidos, reportó una simulación aceptable, tanto para escurrimientos como para sedimentos, y demostró que la calibración por partes (usando información a diferentes escalas) superó a la calibración de parámetros solo a nivel de microcuenca. Massart *et al.* (2010) presentaron una calibración del modelo en una microcuenca con clima subtropical húmedo y señalaron que el modelo sobreestimaba el escurrimiento. Memarian *et al.* (2012) reportaron que el modelo es sensible a cambios en los parámetros Ks (conductividad hidráulica saturada) y n (coeficiente de rugosidad de Manning) y que no resultó sensible a cambios en el parámetro G_{HS} (unidad de capilaridad neta efectiva en laderas). El modelo puede presentar pobres valores de calibración si se tiene una incorrecta medición de humedad inicial del suelo (Burns, 2010) ya que este parámetro es sensible e inestable cuando hay una alta saturación del suelo (Vázquez, 2012).

Con la finalidad de contribuir a la investigación de los procesos hidrológicos en las áreas tropicales de México la presente investigación utiliza la información generada por (CONAGUA, 2012) de las microcuencas denominadas 02 y 09, ambas cubiertas por pastizales y ubicadas en la parte alta de la cuenca del río Pichucalco y en la parte media de la cuenca del río Platanar, respectivamente. Los datos de precipitación, escurrimiento y flujo base a nivel diario se procesaron para calcular el balance de agua anual y los coeficientes de escurrimiento por evento. Se seleccionaron siete eventos de lluvia e hidrogramas con los cuales se calibró el modelo KINEROS, considerando como función objetivo al gasto pico, ya que este se desarrolló para trabajar con base en la simulación del flujo hortoniano.

1.2 Objetivos

- Calibrar el modelo KINEROS mediante parámetros hidrológicos, en microcuencas del trópico húmedo.
- Evaluar la relación lluvia-escurrimiento por evento en microcuencas cubiertas mayormente con pastizales.

1.3 Hipótesis

- El modelo KINEROS puede ser usado para predecir el flujo hortoniano en microcuencas del trópico húmedo.
- El análisis de los parámetros hidrológicos permitirá calibrar el modelo KINEROS.

1.4 Supuestos

- Los procesos hidrológicos analizados en las microcuencas bajo estudio son representativos del trópico húmedo.
- La información biofísica (modelos digitales de elevaciones, perfiles de suelos, uso de suelo, etc.), los pluviógramas, y los limnigramas utilizados son confiables.

1.5 Ubicación del sitio

La zona de estudio se encuentra localizada entre los estados de Tabasco y Chiapas, en la Región Hidrológica No. 30, en la cuenca denominada Grijalva-Usumacinta, donde la corriente del río Grijalva se alimenta de varios ríos, entre ellos Pichucalco y El Platanar. El clima predominante en la zona; según la clasificación de Köppen, es cálido húmedo y semicálido húmedo, con lluvias todo el año. En ambas cuencas se tiene una precipitación media anual superior a 3000 mm.

La cuenca del río Pichucalco se identifica, por CONAGUA, como la subcuenca con clave RH30Dh y tiene un área de 1313.184 km^2 , de los cuales 845.94 están cubiertos por pastizal cultivado o inducido, esto representa el 64.4 % de la superficie, de acuerdo con datos cobertura y vegetación de la Serie V escala 1:250 000 (INEGI, 2013), la población más importante es Pichucalco, Chiapas. La Microcuenca 02 Chapultenango se localiza en la parte alta de la cuenca, entre las siguientes coordenadas extremas latitud 17°19.577' a 17°19.728' y longitud de -93°7.181' a -93°6.985', aproximadamente a 30 km de la cabecera municipal y tiene un área de aporte de 6.34 ha (Figura 1).

La cuenca del río Platanar, identificada por CONAGUA como la subcuenca con clave RH30Df, tiene una superficie de 399.61 km^2 y el 74.9 % está cubierta por pastizal cultivado o inducido (INEGI, 2013). La población más importante es Sunuapa, Chiapas. La Microcuenca 09 tiene un área de 5.37 ha y se localiza en la parte alta de la cuenca del río Platanar, entre las coordenadas extremas latitud 17°28.623' a 17°28.796' y longitud -93°14.331' a -93°14.163', aproximadamente a 5 km de Sunuapa (Figura 2).

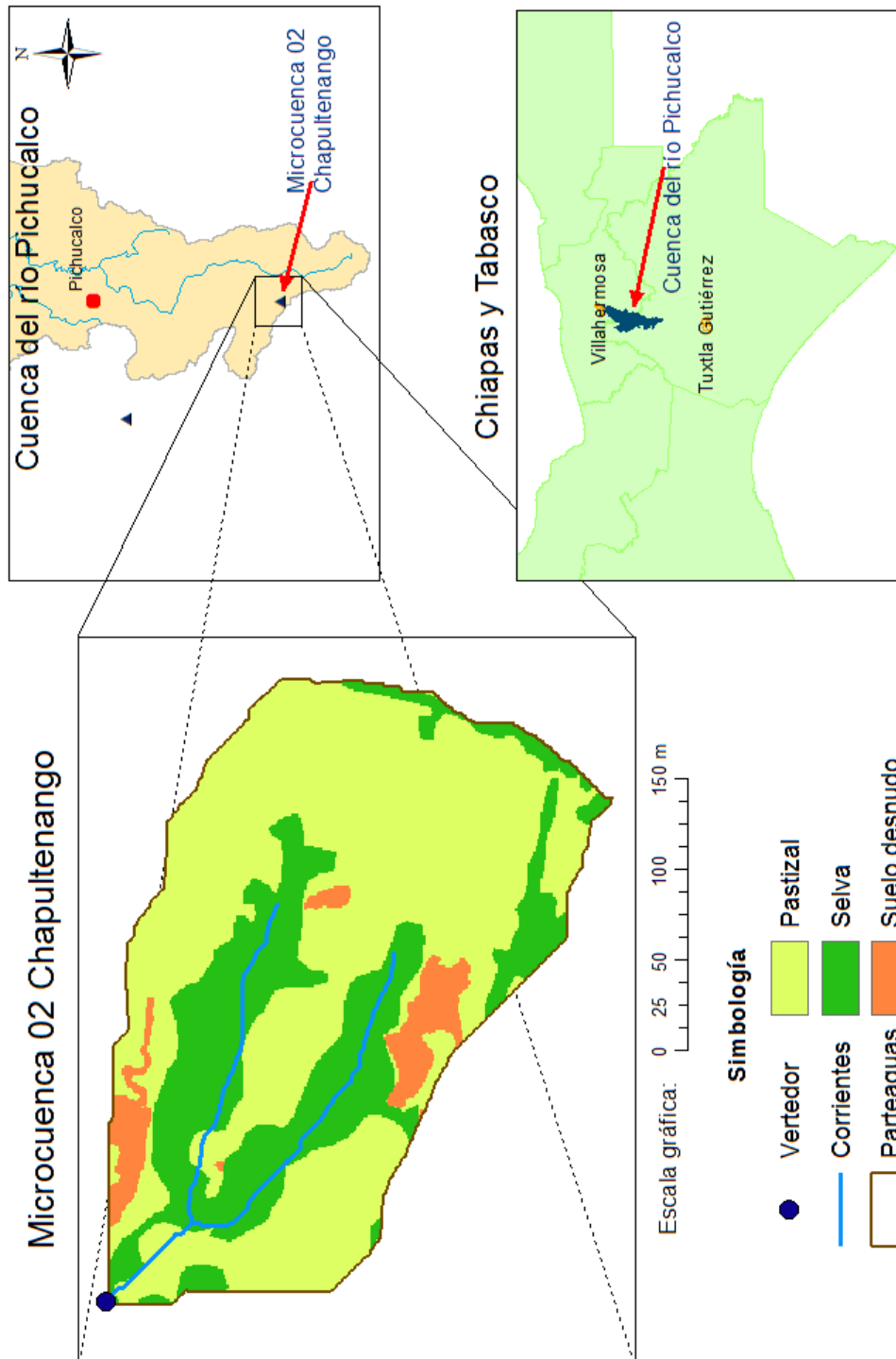


Figura 1: Ubicación de la Microcuenca 02.

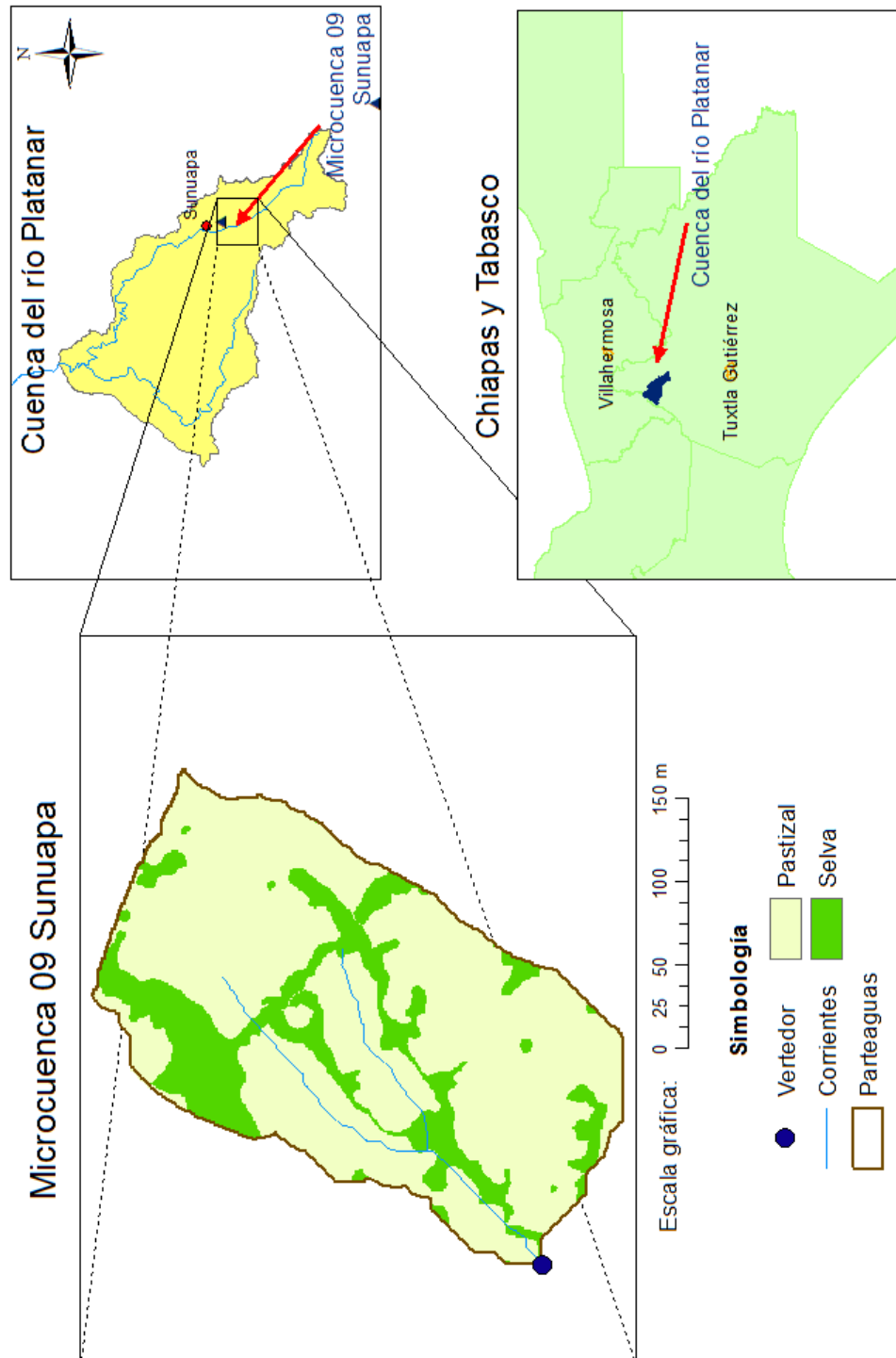


Figura 2: Ubicación de la Microcuenca 09.

2 Revisión de literatura

Los modelos hidrológicos representan el ciclo del agua en varias formas, las leyes de conservación de masa, energía y momentum son incluidas en un grupo de principios teóricos usados en modelos para explicar el ciclo del agua. Las relaciones lluvia-escurrimiento se pueden considerar en tres formas: (a) la relación entre el volumen precipitado y el volumen escurrido en una tormenta, (b) la forma en que la distribución de la lluvia afecta en el tiempo al escurrimiento máximo instantáneo por evento y tiempo al pico, y (c) la relación entre la frecuencia de la lluvia y la producción de escurrimientos (Haan *et al.*, 1982).

En este capítulo se revisan los siguientes temas: la relación lluvia-escurrimiento en pequeñas microcuencas, los modelos hidrológicos (concepto y clasificación), la selección del modelo, y la aplicación y calibración del modelo KINEROS.

2.1 Relación lluvia-escurrimiento en pequeñas microcuencas

Es ampliamente reconocida la importancia de investigar la respuesta hidrológica de los sistemas de manejo de suelos y cobertura vegetal a nivel de lote de escurrimiento, en unidades de escurrimiento y en pequeñas microcuencas. Han *et al.* (2012) hacen énfasis que los mecanismos que controlan el escurrimiento son propios de cada sitio, por lo cual es importante identificar y caracterizar el tipo de flujo que controla el escurrimiento para cada caso particular.

Varios procesos y formas de flujo determinan cuanto y que tan rápido la precipitación se convierte en escurrimiento. La forma más directa de flujo es la precipitación que cae directamente en el canal y en áreas adyacentes, llamado intercepción en el canal *channel interception*, el cual causa la respuesta inicial en el hidrograma. El flujo superficial *overland flow* es el agua que fluye sobre la superficie de suelo saturado y sobre áreas impermeables, o sobre zonas donde la intensidad de lluvia supera a la tasa de infiltración. El flujo subsuperficial o lateral es parte de la precipitación que se infiltra en el suelo y se mueve lateralmente hasta llegar al sistema de drenaje en un periodo corto para ser considerado parte del hidrograma de la tormenta.

El flujo superficial es el mayor componente del hidrograma en áreas urbanas; mientras que el flujo subsuperficial es considerado el mayor componente en cuencas con bosque y que tienen suelos con buena capacidad de drenaje (Brooks *et al.*, 2003).

Han *et al.* (2012) analizó datos de lluvia y escurrimiento de 30 tormentas medidas durante la época de inundaciones de 1997 a 2008, en un lote de escurrimiento ($1600 m^2$), en una parcela ($0.06 km^2$), y en una pequeña microcuenca ($1.36 km^2$).

Los trabajos se llevaron a cabo en la cuenca experimental Wudaogu en el Río Huaihe, China, el clima de esta zona es semi-húmedo templado con lluvias en verano. Se concluyó que la condición de humedad antecedente, la cual fue aproximada por el nivel freático al inicio de la tormenta, es un importante parámetro que influye en la formación de escurrimiento. Un alto porcentaje de lluvia se convirtió en escurrimiento cuando el nivel de la zona saturada es somero, mientras que se obtuvieron bajos coeficientes de escurrimiento cuando el nivel de la zona saturada es profundo.

Por su parte Beasley (1976) citado por Brooks *et al.* (2003) analizó alrededor de 36 hidrogramas de tormentas en pequeñas cuencas con áreas entre 1.86 y 1.62 ha y encontró que el flujo pico respondía con un retraso de 5 minutos en comparación con el flujo pico en lotes de escurrimiento. Concluyó que el flujo a través de macro poros *pipeflow* era la única explicación para este tipo de respuesta rápida.

2.2 Modelos

Un modelo es requerido para transferir la teoría al "mundo real" y confrontar datos empíricos, mediante la manipulación del modelo; esta confrontación puede revelar procesos que no son considerados por las teorías existentes y puede sugerir el desarrollo de nuevas teorías. Un modelo que se usa en el sentido descrito es considerado como un instrumento que media entre el mundo (datos empíricos) y la teoría que se está comprobando. En hidrología, este propósito se logra principalmente con el uso de modelos de base física, mientras que los modelos conceptuales son generalmente considerados para describir simplificaciones del sistema. Cuando un modelo es utilizado para encontrar datos perdidos o para evaluar observaciones existentes, también se considera que los modelos son instrumentos que relacionan la teoría y el mundo real. Tanto los modelos conceptuales y los modelos hidrológicos de base física son apropiados para este fin (Bable y Karssenber, 2013).

2.2.1 Clasificación general de modelos

Un modelo es una expresión para mostrar una parte del mundo natural o creada por el hombre; el modelo puede ser físico, análogo o matemático (Dingman, 2002).

Los modelos físicos representan el sistema en una escala reducida (Chow *et al.*, 1994). Este tipo de modelo tiene propiedades físicas similares y un parecido físico al sistema prototipo. Ejemplos de esta clase de modelos incluyen representaciones a escala de una cuenca, lisímetros, el modelo hidráulico del vertedor de una presa, etc. (Xu, 2002). Los modelos análogos son el resultado de la simulación de un proceso que es utilizado para representar un proceso natural (Jararmizadeh *et al.*, 2012). Por ejemplo el uso del flujo de corriente eléctrica para representar el flujo de agua (Xu, 2002). En los modelos matemáticos o abstractos las operaciones del sistema

se describen por medio de un conjunto de ecuaciones que relacionan las variables de entrada y de salida; estas variables pueden ser funciones del espacio y del tiempo, y también pueden ser variables probabilísticas o aleatorias (Chow *et al.*, 1994).

2.2.2 Tipos de modelos matemáticos

Los modelos matemáticos son clasificados por Chow *et al.* (1994) en dos grandes categorías modelo determinístico y modelo estocástico. El primero no considera aleatoriedad; una entrada dada produce siempre la misma salida. El modelo estocástico tiene salidas que son por lo menos parcialmente aleatorias. Podría decirse que los modelos determinísticos hacen pronósticos, mientras que los modelos estocásticos hacen predicciones.

En términos de discretización espacial o resolución podemos identificar una escala ascendente de precisión comenzando por: los modelos agregados *lumped* que tratan toda la cuenca como una unidad homogénea; continuando con los modelos semi-distribuidos *semi-distributed*, que intentan calcular el flujo considerando subcuencas que son consideradas como unidades homogéneas; hasta modelos distribuidos *distributed*, en los cuales la cuenca es dividida en unidades de áreas elementales como una malla o grilla (Xu, 2002).

Jararmizadeh *et al.* (2012) señalaron que existen diferentes clasificaciones de modelos hidrológicos y todas pretenden hacer simple su comprensión y operación. Sin embargo, no es posible una clasificación definitiva debido a que muchos modelos tienen características en común, para este trabajo se describen algunas categorías de modelos planteadas por algunos investigadores.

Modelos empíricos algunas veces denominados de caja negra *Black-box models*. Es una representación del sistema mediante una explicación matemática usando datos experimentales, sin realmente intentar explicar el fenómeno mediante el uso de leyes físicas. Este tipo de modelos es desarrollado a través del uso de datos experimentales, normalmente se usan análisis estadísticos de regresión para establecer las relaciones entre las variables (Jararmizadeh *et al.*, 2012). Un ejemplo de este tipo de modelos es el Hidrograma Unitario y el Método Racional.

Modelos conceptuales algunas veces denominados de caja gris *Grey-box models*. Son representaciones limitadas de los procesos que ocurren en el sistema. Los modelos conceptuales trabajan utilizando técnicas matemáticas y son principalmente utilizados en el elaboración de balances hídricos. Este tipo de modelos son diferentes de los modelos de base física porque simulan un sistema con base en la percepción. El modelo de este tipo más famoso es el *Stanford Watershed Model de Crawford y Linsley* (1966) (Jararmizadeh *et al.*, 2012).

Modelos de base física algunas veces denominados de caja blanca *White-box*

models. Intentan representar los procesos físicos relevantes. Los procesos físicos y características medibles son las bases para determinar el funcionamiento del sistema. Un ejemplo este tipo de modelos es el modelo *Systeme Hydrologique Europeen* (SHE) (Xu, 2002). El modelo KINEROS pertenece a este grupo, ya que utiliza los principios físicos de conservación de masa y momento y está formulado con base en una serie de parámetros que son medibles.

Refsgaard (2007) indica que los modelos pueden ser clasificados en determinísticos y estocásticos, y menciona que la mayoría de los modelos conceptuales son también agregados, y que la mayoría de los modelos de base física son también distribuidos, entonces propone utilizar simplemente tres categorías de análisis este esquema general se presenta en la Figura 3.

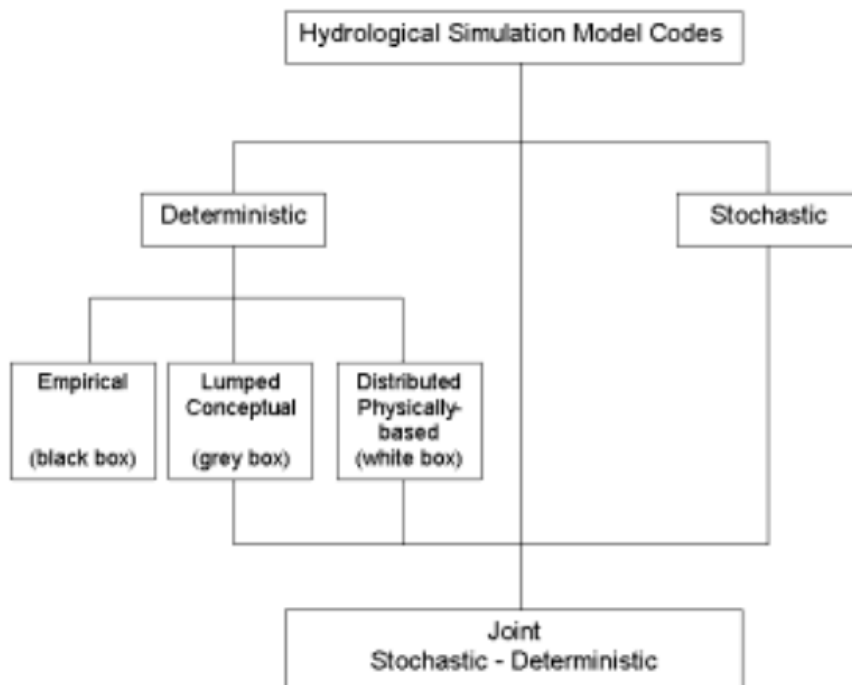


Figura 3: Clasificación de modelos.

Ruiz (2008) menciona que los modelos según su continuidad en el tiempo se pueden dividir en discretos (por evento) y continuos. Los primeros están diseñados para simular eventos lluvia-escorrentía aislados y se centran en el cálculo del escurrimiento e infiltración. Por otro lado los modelos continuos toman en cuenta también los procesos de la evapotranspiración, el flujo sub-superficial y subterráneo, entre otros procesos que intervienen en la dinámica del almacenamiento de humedad en el suelo durante periodos secos.

2.3 Selección del modelo

La presente tesis hace un análisis de dos microcuencas con base en la caracterización a detalle de los componentes biofísicos y datos de lluvia y escurrimientos que son resultados del primer año del programa de monitoreo (CONAGUA, 2012). Sin embargo, es importante señalar que no fue posible capturar todas las tormentas con la precisión suficiente, por esta razón se decidió concentrarse en estudiar los eventos de lluvia de mayor intensidad y que tuvieran información completa del pluviógrafo y del limnígrafo.

El modelo KINEROS fue diseñado para zonas áridas. Sin embargo, ingenieros e incluso investigadores lo usan en áreas tropicales, porque permite evaluar de forma rápida las tormentas con la aplicación del principio de la onda cinemática, y de las ecuaciones de conservación de masa y momento.

Se seleccionó el modelo KINEROS por las siguientes razones: está diseñado para evaluar tormentas individuales y en microcuencas pequeñas, a pesar de estar diseñado para zonas áridas es aplicado en zonas tropicales de México sin tener suficientes evaluaciones de su desempeño, y está integrado a la Herramienta AGWA la cual es una interfase de sistemas de información geográfica disponible para diferentes plataformas desarrolladas por ESRI.

2.4 Calibración de parámetros hidrológicos

Burns (2010) presenta la calibración a diferentes escalas de parámetros que controlan el escurrimiento y la erosión y compara la calibración sencilla de parámetros en microcuencas versus la calibración a diferentes escalas; calibrando combinaciones de parámetros en lotes de escurrimiento y en laderas y posteriormente integrando estos resultados para calibrar las microcuencas denominadas LH 102, LH106 y LH104, las cuales tienen áreas de 4.41, 0.367 y 1.653 hectáreas, respectivamente. Esta investigación se llevó a cabo en la cuenca experimental *Walnut Gulch* operada por el *Southwest Watershed Research Center* en Tucson, Arizona, Estados Unidos, mediante el uso de la plataforma AGWA y del modelo DWEPP.

Burns (2010) presenta para la calibración de escurrimientos valores de R^2 mayores a 0.788 y para sedimentos valores mayores a 0.751 y concluye que se obtuvo una simulación aceptable tanto para escurrimientos como sedimentos. También demuestra que la calibración por partes (usando información a diferentes escalas) superó a la calibración de parámetros solo a nivel de microcuenca y que esta última no representó de forma apropiada los procesos a nivel de ladera.

En la Figura 4 se presenta una gráfica reportada Burns (2010) en la cual compara dos eventos de lluvia similares, el evento 10508 con una humedad inicial de 29%

y el evento 25663 con 15%; y señala que el evento 10508 tuvo una muy pobre calibración mientras que el evento 25663 tuvo una adecuada calibración, se atribuyen las diferencias a una incorrecta medición de la humedad inicial del suelo en los eventos.

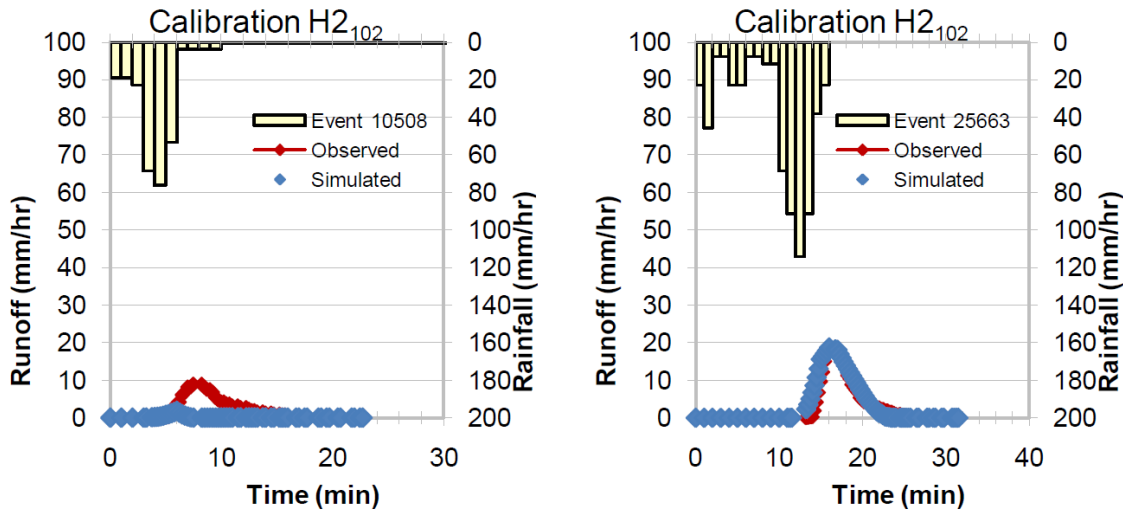


Figura 4: Eventos similares mostrando inadecuados valores iniciales de humedad en el suelo.

Vázquez (2012) presenta un estudio de aplicación del modelo KINEROS en una cuenca semi-instrumentada con un área de 355 km^2 , con registros de lluvia y escurrimiento cada 24 horas en la zona costera de Chiapas. En su trabajo señala variaciones importantes al analizar tormentas y menciona que si no se calibra el modelo existe la posibilidad de que se incurra en errores graves en la obtención del gasto pico. En particular señala que el parámetro asociado con saturación inicial es sensible e inestable cuando hay una alta saturación del suelo y pone el siguiente ejemplo. Para la tormenta del 2 de septiembre de 1988 si se redondea el valor de $S_i = 0.929999$ a $S_i = 0.93$, entonces el gasto pico estimado se incrementa de $375.9 \text{ m}^3/\text{s}$ a $786.9 \text{ m}^3/\text{s}$.

Bisri *et al.* (2008) utilizaron el modelo KINEROS en una cuenca tropical en Indonesia. La cuenca tiene un área de 15.39 km^2 y una precipitación anual de 1 700 mm. En este estudio se concluyó que el modelo KINEROS era capaz de predecir el escurrimiento en pequeñas microcuencas de esa región.

Massart *et al.* (2010) presentaron una calibración del modelo K2-O2, el cual es una combinación de KINEROS2 y Opus 2 (*a continuous soil moisture, plant growth, and nutrient cycling model*), en dos cuencas del *United States Department of Agriculture-Agricultural Research Service*: La microcuenca P-3 (1.26 hectáreas)

localizada en Watkinsville, Georgia que está caracterizada por un clima subtropical húmedo y la microcuenca LH 104 (4.4 hectáreas) localizada cerca de Tombstone, Arizona que está caracterizada por un ambiente de desierto semiárido.

Cuando se comparó el escurrimiento simulado versus medido en una escala continua, se encontró que el modelo tendía a sobre-estimar el escurrimiento para la microcuenca P-3, mientras que para la microcuenca LH 104 se encontró que el modelo tiene la capacidad para simular tendencias similares al escurrimiento medido. Sin embargo, para una parte del periodo de estudio sobre-estimó el escurrimiento. En la Figura 5 se compara la línea 1 : 1 versus la línea de regresión de la simulación de eventos y se observa que para la microcuenca P-3 la pendiente y el coeficiente de determinación R^2 son menores que para LH 104 como lo indica Massart *et al.* (2010).

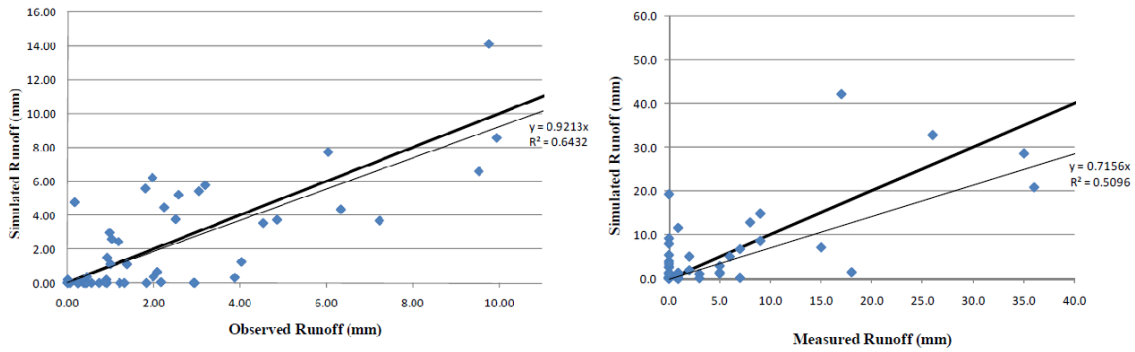


Figura 5: Resultados para la Microcuenca LH-104 (izquierda) y P-3 (derecha).

Memarian *et al.* (2012) reportaron la calibración del modelo KINEROS en la cuenca del Río Langat en la subcuenca Hulu Langat, Malasia. Esta subcuenca tiene un superficie de 390.26 km^2 , está cubierta en 54.6 % de su área por bosque, y tiene una una precipitación de 2453 mm anuales. En ese trabajo se eligieron tres tormentas para calibración con diferentes intensidades y duración del año 1997 y dos tormentas de 1984 y 2008 para validación, y se realizó el análisis de sensibilidad de K2 (Figura 6).

Se reportó que el modelo es muy sensible a cambios en los parámetros Ks (conductividad hidráulica saturada) y n (coeficiente de rugosidad de Manning) indicando que las variaciones en n_{HS} (en laderas) y Ks_{HS} (en laderas) ocasionaban el 193.87 % y 114.67 % de variación en producción de sedimentos, respectivamente. Por otra parte el modelo no resultó sensible a cambios en la G_{HS} (unidad de capilaridad neta efectiva en laderas) y presentó poca sensibilidad (alrededor de 2.7 %) a G_{CH} (Unidad de capilaridad neta efectiva en canales). La sensibilidad media del modelo a $CV \text{ de } Ks$ (Coeficiente de variación de la conductividad hidráulica saturada) para sedimentos y gasto pico fue 12.27% y 8.41 %, respectivamente.

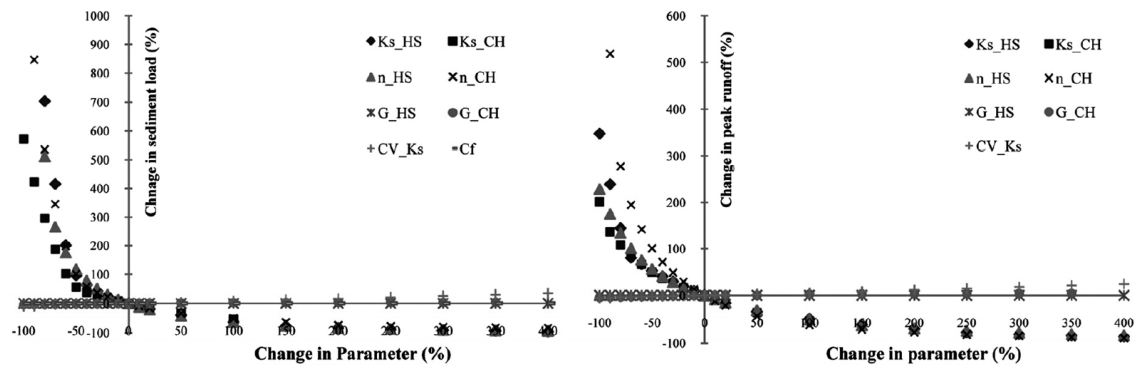


Figura 6: Cambio en la producción de sedimentos y en el gasto pico ocasionados por cambios en los parámetros seleccionados (Memarian *et al.*, 2012).

3 Estructura del modelo

3.1 KINEROS (del ingl. *Kinematic Runoff and Erosion Model*)

El KINEROS es un modelo distribuido, orientado a eventos aislados de tormenta, de base física, que describe los procesos de flujo superficial y erosión en cuencas pequeñas agrícolas o urbanas menores o iguales a 100 km^2 . KINEROS es un modelo distribuido porque la superficie de la cuenca y la red de canales esta representada por una cascada de planos y canales, y cada elemento puede ser descrito por parámetros únicos (Figura 7). Es orientado a eventos porque no tiene componentes para estimar la evapotranspiración y el movimiento del agua entre tormentas. Es de base física porque los modelos matemáticos que usa para describir sus componentes están basados en principios físicos de conservación de masa y momento (Woolhiser *et al.*, 1990).

3.2 Procesos simulados por el modelo KINEROS

A continuación se describen de forma general los principales procesos que simula el modelo KINEROS, cabe señalar que en este trabajo se presentan de forma resumida solo los procesos en los que se realizó la calibración; para consultar los detalles de cada proceso señalado u otros que no se mencionan se sugiere revisar el Manual de usuario del modelo, publicado por Woolhiser *et al.* (1990).

3.2.1 Lluvia

Los datos de lluvia pueden ser ingresados como cantidad de lluvia acumulada en el tiempo o directamente como valores de intensidad. La lluvia es modelada de forma uniforme en cada elemento, pero varía entre elementos, si existe más de un pluviógrafo o múltiples pixeles de imágenes de radar (Goodrich *et al.*, 2012).

La variación espacial de lluvia es representada mediante interpolación. Primero se calculan las coordenadas centroidales para cada plano y canal discretizado, posteriormente el programa ubica para cada elemento los tres pluviografos más cercanos y que encierren a las coordenadas centroidales del elemento; si no hay tres pluviografos que encierren al elemento entonces usan los dos pluviografos más cercanos, si no existen dos pluviografos entonces el modelo usa solo la información del pluviógrafo más cercano. La lámina de lluvia para cada elemento se calcula con los datos de los pluviografos seleccionados y de forma proporcional a la distancia entre el centroide y cada pluviógrafo, lo anterior se estima a través de un coeficiente de interpolación espacial. La saturación inicial del suelo se especifica en cada evento de lluvia, por

lo cual este parámetro también se interpola para cada elemento, mediante el mismo coeficiente de interpolación (Woolhiser *et al.*, 1990).

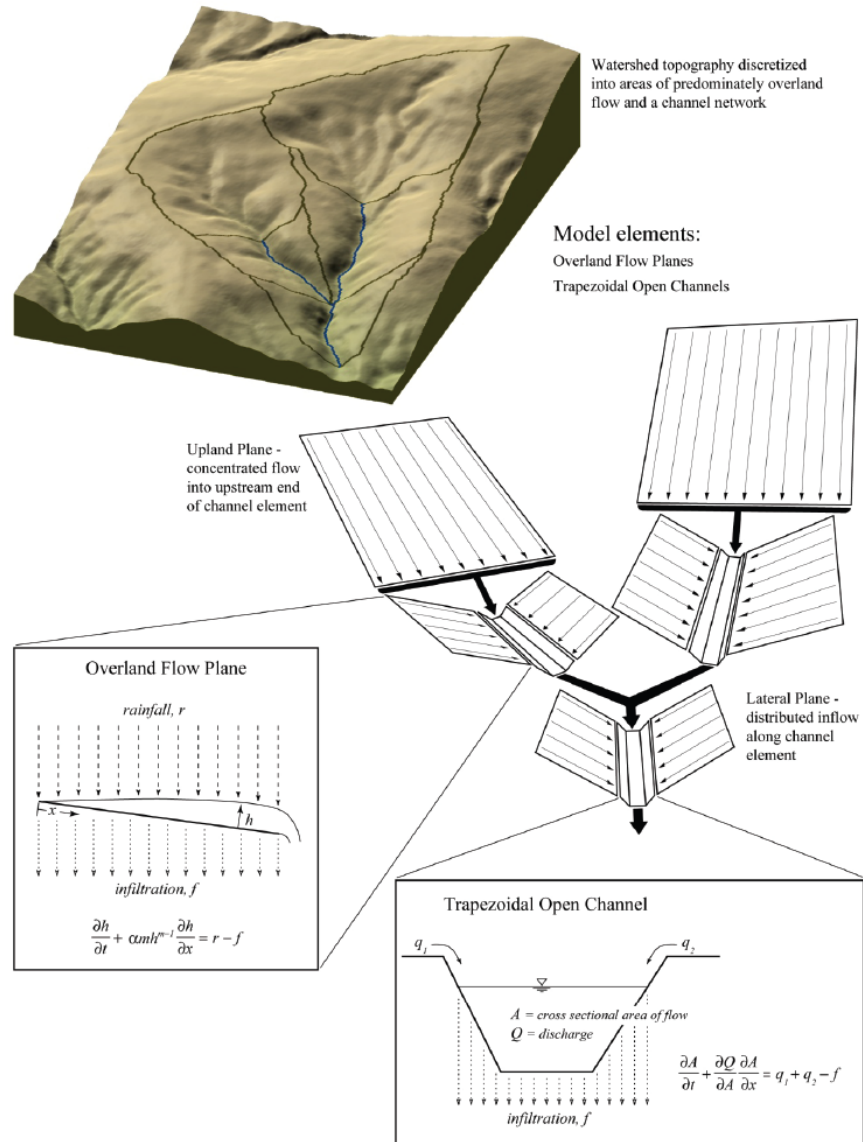


Figura 7: Elementos topográficos y la topología de la red de canales simplificados en KINEROS, obtenido de Goodrich *et al.* (2012).

3.2.2 Intercepción

La intercepción es la porción de lluvia que es colectada y retenida en las superficies vegetales. El efecto de la intercepción es controlado por dos parámetros, la lámina de agua interceptada que está asociada con el tipo de vegetación y la fracción de

superficie que está cubierta por esta vegetación. El parámetro intercepción refleja la lámina promedio retenida por un tipo de vegetación o una mezcla de varios tipos de vegetación presente en una superficie. La intensidad de lluvia se reduce por la fracción cubierta (p.e., una fracción de cobertura igual a 0.50 ocasiona una reducción del 50 %) hasta que la cantidad retenida sea igual la lámina de intercepción, la intercepción puede ser especificada en cada elemento del modelo (Goodrich *et al.*, 2012).

3.2.3 Infiltración

La capacidad de infiltración del suelo determina para una tormenta dada, la cantidad y distribución del exceso de lluvia disponible para producir escurrimiento y almacenar agua en la superficie. Los factores que controlan la infiltración, el movimiento del agua en el suelo y su distribución durante y después del proceso de infiltración son: la profundidad de suelos, geomorfología, las propiedades hidráulicas del suelo y las características de la lluvia o del clima (Haan *et al.*, 1982).

En el modelo KINEROS la capacidad de infiltración se encuentra en función de tres parámetros fundamentales del suelo: La unidad de capilaridad neta efectiva o tensión capilar (G), mm, la conductividad hidráulica saturada (K_s), mm/h, y la saturación relativa inicial S_i , adim. Además de los tres parámetros anteriormente descritos, KINEROS requiere los siguientes parámetros del suelo para describir las características de la infiltración: porosidad (ϕ), índice de distribución de poros adimensional (λ), coeficiente de variación de la conductividad hidráulica saturada ($C_v(K_s)$) y contenido de rocas (Rock);

La capacidad de infiltración (f_c) o máxima velocidad a la que el agua puede entrar al suelo, se describe en la siguiente ecuación como una función (f) del contenido inicial de agua (θ_i) y de la cantidad de agua que se ha absorbido en el suelo o infiltración acumulada (F):

$$f_c = \underline{f}(F, \theta_i) \quad (1)$$

La expresión para calcular la infiltración en KINEROS fue desarrollada por Smith and Parlange (1978):

$$f_c = K_s \frac{\exp(F/B)}{[\exp(F/B) - 1]} \quad (2)$$

Donde:

K_s = Conductividad hidráulica saturada, (cm/min)

F = Infiltración acumulada (mm)

B = Término que combina G con el déficit de saturación del suelo

$$B = (\theta_s - \theta_i)G$$

$(\theta_s - \theta_i)$ = Déficit de saturación del suelo

θ_s = Contenido máximo de humedad del suelo (ligeramente menor que la porosidad del suelo)

θ_i = Contenido inicial de humedad del suelo el cual se estima, mediante el parámetro de saturación inicial (SI)

G = Unidad de capilaridad neta efectiva o tensión capilar del suelo, (mm)

$$G = \int_{-\infty}^0 k_r(\varphi)(d\varphi) \quad (3)$$

φ = Tensión de succión en el frente, (mm)

k_r = Conductividad hidráulica relativa

$$k_r = \frac{K}{K_s}$$

Existen valores estimados para los parámetros G y K_s para una gran variedad de texturas de suelo reportadas en el Manual de KINEROS (Woolhiser *et al.*, 1990).

3.2.4 Flujo superficial hortoniano

Cuando la intensidad de la lluvia excede la capacidad de infiltración y se almacena una cantidad suficiente de agua en la superficie para vencer los efectos de tensión y llenar las pequeñas depresiones, entonces es cuando comienza el flujo superficial Hortoniano. KINEROS simula este proceso en una dimensión en la cual el flujo es proporcional a una potencia del almacenamiento por unidad de área (Figura 8), esto es:

$$Q = \alpha h^m \quad (4)$$

Donde Q es la descarga por unidad de ancho h es el almacenamiento de agua por unidad de superficie (o tirante si la superficie es un plano), y α y m son parámetros relacionados con la pendiente, rugosidad y régimen de flujo.

La ecuación 4 se usa con la ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q(x, t) \quad (5)$$

Donde: t es tiempo, x es la distancia en dirección de la pendiente, y $q(x, t)$ es el gasto de entrada lateral (intensidad menos infiltración).

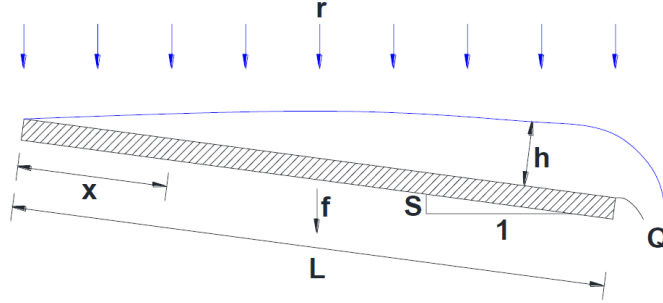


Figura 8: Esquema del flujo superficial en un plano.

3.2.5 Tránsito en canales

El flujo superficial no permanente en los canales es representado por la aproximación cinemática de las ecuaciones de flujo no permanente gradualmente variado. Los segmentos del canal pueden recibir entradas laterales uniformemente distribuidas, pero variables en el tiempo desde planos (laderas) de uno o ambos lados del canal, o desde uno o dos canales en el límite aguas arriba. Las dimensiones de los planos se eligen para cubrir por completo la cuenca, por lo que las precipitaciones en el canal no se consideran directamente. La ecuación de continuidad para los canales con entradas laterales se presenta en la ecuación 6.

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_c(x, t) \quad (6)$$

Dónde: A es el área de la sección transversal, Q es la descarga del canal y $q_c(x, t)$ es la entrada lateral neta por unidad de longitud del canal. Bajo la asunción cinemática, Q puede ser expresado como una función única de A y la ecuación 6 se puede escribir la ecuación 7

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial A} \frac{\partial A}{\partial x} = q_c(x, t) \quad (7)$$

El supuesto cinemático se manifiesta en la relación entre el canal de descarga y el área de la sección transversal de manera que:

$$Q = \alpha R^{m-1} A \quad (8)$$

Dónde: R es el radio hidráulico. Si se utiliza la relación de Chezy, $\alpha = C\sqrt{S}$ y $m = \frac{3}{2}$. Si se usa la ecuación de Manning, $\alpha = \frac{1.49S^{\frac{1}{2}}}{n}$ y $m = \frac{5}{3}$. La sección transversal del canal puede ser aproximada como trapezoidal o circular.

3.3 Herramienta AGWA (del ingl. *Automated Geospatial Watershed Assessment*)

AGWA es una interfase de sistemas de información geográfica, usada para organizar datos y parametrizar, ejecutar, y visualizar resultados de simulaciones para dos modelos hidrológicos, KINEROS y SWAT (por sus siglas en inglés *Soil and Water Assessment Tool*).

AGWA está disponible para diferentes plataformas desarrolladas por el ESRI (del ingl. *Environmental Systems Research Institute*): AGWA 1.5 para ArcView 3.x, AGWA 2.x para ArcGIS9.x, y AGWA 3.x para ArcGIS 10.x.

A través de una robusta interfase intuitiva el usuario selecciona el punto de salida a partir del cual AGWA delinearé y discretizará la cuenca usando el Modelo Digital de Elevación (MDE). Los elementos de la cuenca son posteriormente intersectados con las capas de: suelo, cobertura vegetal, y con la precipitación (uniforme o distribuida), para obtener los parámetros de entrada del modelo, entonces se corre el modelo, y los resultados son importados por AGWA para ser desplegados (<http://www.tucson.ars.ag.gov/agwa/>).

Los resultados o datos de salida que se pueden obtener con KINEROS, tanto para canales como para planos, son los siguientes:

- Infiltración (mm)
- Escurrimiento (mm)
- Escurrimiento (m^3)
- Producción de sedimentos (kg/ha)
- Gasto pico (m^3/s)
- Descarga pico de sedimentos (kg/s)

4 Materiales y métodos

4.1 Obtención de la información

La mayor parte de la información de este estudio fue generada por la Comisión Nacional del Agua, en convenio de colaboración con la Universidad Autónoma Chapingo (CONAGUA, 2012). La selección de las microcuencas se realizó por un equipo interdisciplinario, mediante estudios en gabinete y recorridos de campo, para que fueran representativas de cuencas. En cada microcuenca se realizó el análisis del medio biofísico y se instrumentaron para medir la precipitación y escurrimiento por evento.

4.1.1 Topografía

La topografía es un factor que influye en el microclima, vegetación, fauna, formación de suelos, etc. Para conocer el relieve de las microcuencas se realizó un levantamiento topográfico a detalle con un GPS diferencial (Sistema RTK GNSS trimble R8), tanto del parteaguas como del área de drenaje. Con base en los puntos levantados se elaboró un modelo digital de elevaciones (MDE), con resolución de un metro, posteriormente se utilizó esta información para delimitar cada unidad de drenaje y caracterizar morfométricamente los sitios.

La altitud de la Microcuenca 02 varía de 644 a 809 m, con una altitud promedio de 718 m, la pendiente media es de 53.4 % (Figura 9) y su histograma de pendientes se muestra en la Figura 10 (A).

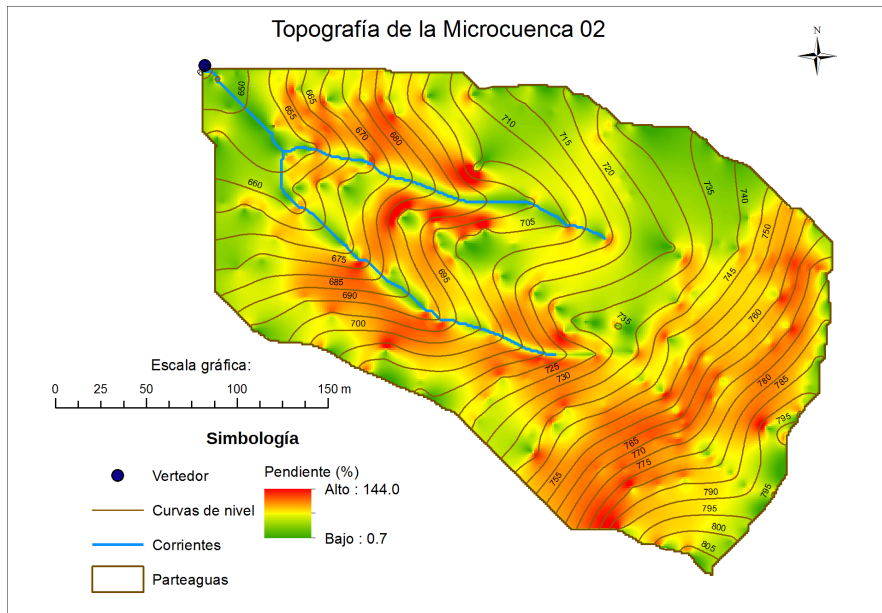


Figura 9: Mapa de pendiente y elevaciones de la Microcuenca 02.

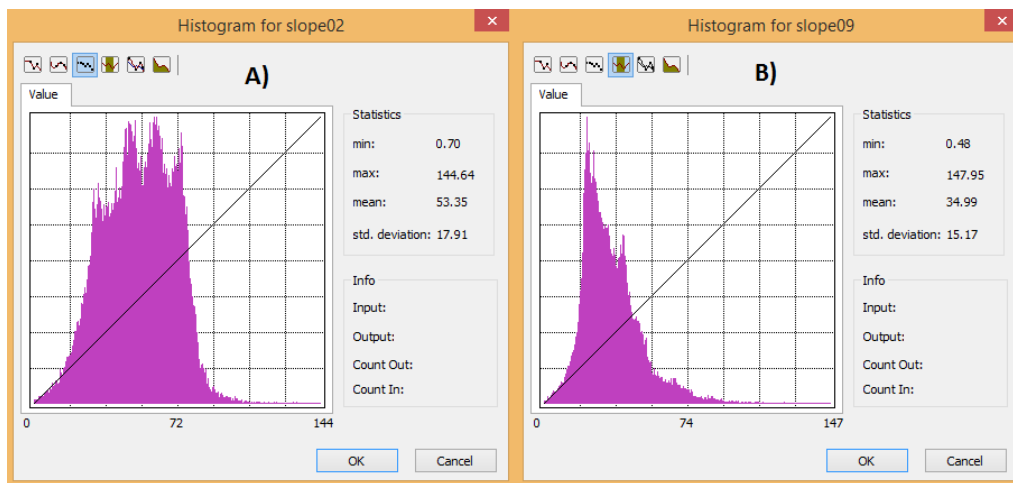


Figura 10: Histogramas de pendientes de las Microcuenca 02 (A) y 09 (B), respectivamente.

En el caso de la Microcuenca 09, la altitud varía desde los 233 hasta 329 m, con una altitud promedio de 272 m, la pendiente media de la microcuenca es de 34.9 % (Figura 11) y su histograma de pendientes se muestra en la Figura 10 (B).

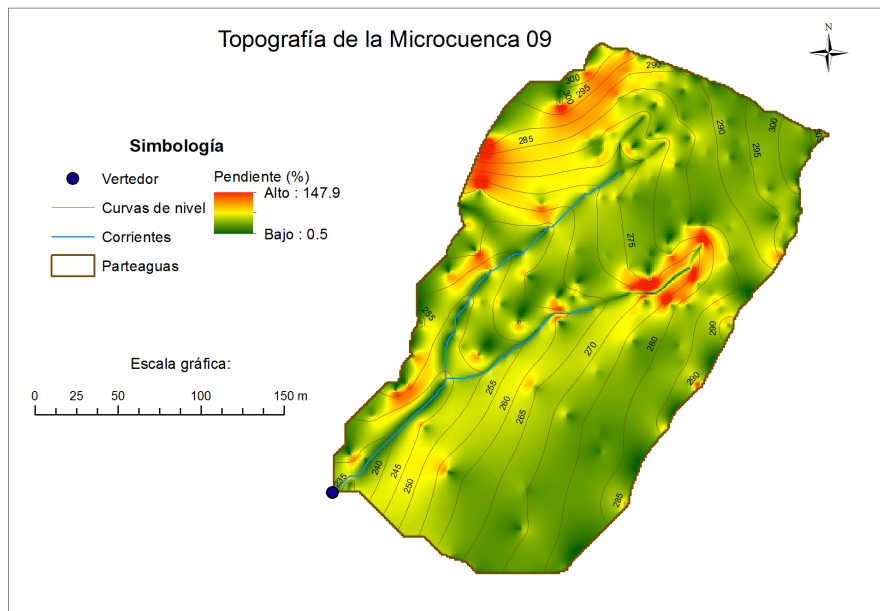


Figura 11: Mapa de pendiente y elevaciones de la Microcuenca 09.

4.1.2 Uso del suelo

La vegetación se georeferenció mediante recorridos en campo y después se delimitó en gabinete, de forma manual y con base en imágenes del satélite *quickbird*, con resolución de 1 m.

La Microcuenca 02 tiene una cobertura dominada por pastizal en 4.15 ha, selva con 1.84 ha y 0.35 ha de suelo desnudo; en esta área se observa la compactación por sobrepastoreo del ganado en los pastizales existentes (Figura 13).

La cobertura de la Microcuenca 09 está dominada por pastizal en 4.2 ha y 1.17 ha de selva, los pastizales también presentan condiciones de sobrepastoreo. Sin embargo, no se detectaron zonas con deslizamientos o con fuerte degradación de la cobertura (Figura 14).

4.1.3 Procedimiento metodológico para estudio de suelos

El levantamiento en campo y la descripción de los perfiles de suelo se realizó con base en las especificaciones que presenta la guía de la FAO (2009). La selección de sitios para la apertura de pozos agrológicos y descripción de perfiles se realizó, tomando en cuenta los tipos de vegetación, pendiente, forma de la pendiente, características de la superficie, afloramientos rocosos y uso de suelo dominante. Se abrieron 2 perfiles, en cada microcuenca, cuyas coordenadas y altitudes se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Localización de perfiles.

| Microcuenca | Localidad cercana | Perfil | Longitud | | | Latitud | | | Altitud m |
|-------------|-------------------|----------|----------|----|------|---------|----|------|-----------|
| | | | GG | MM | SS.S | GG | MM | SS.S | |
| 02 | Chapultenango | perfil 1 | -94 | 52 | 49.8 | 17 | 19 | 42.7 | 678 |
| 02 | Chapultenango | perfil 2 | -94 | 52 | 50.9 | 17 | 19 | 43.0 | 652 |
| 09 | Sunuapa | perfil 1 | -94 | 45 | 43.6 | 17 | 28 | 44.3 | 266 |
| 09 | Sunuapa | perfil 2 | -94 | 45 | 43.6 | 17 | 28 | 42.9 | 264 |

Se realizó la descripción de la superficie del terreno y se definió la orientación, trazo y apertura del pozo con dimensiones de un metro de ancho, dos metros de largo y una profundidad variable, en función de las condiciones del suelo y de los horizontes encontrados.

Se limpió perfectamente la cara seleccionada para hacer el perfil y se procedió a delimitar y describir las capas previamente diferenciadas por color, dureza y textura de acuerdo con FAO (2009). Se tomaron fotografías y se procedió a tomar muestras de suelo de cada horizonte para hacer un análisis físico-químico de las mismas. Con la información levantada en campo y laboratorio se realizó la clasificación del suelo (Figura 12).

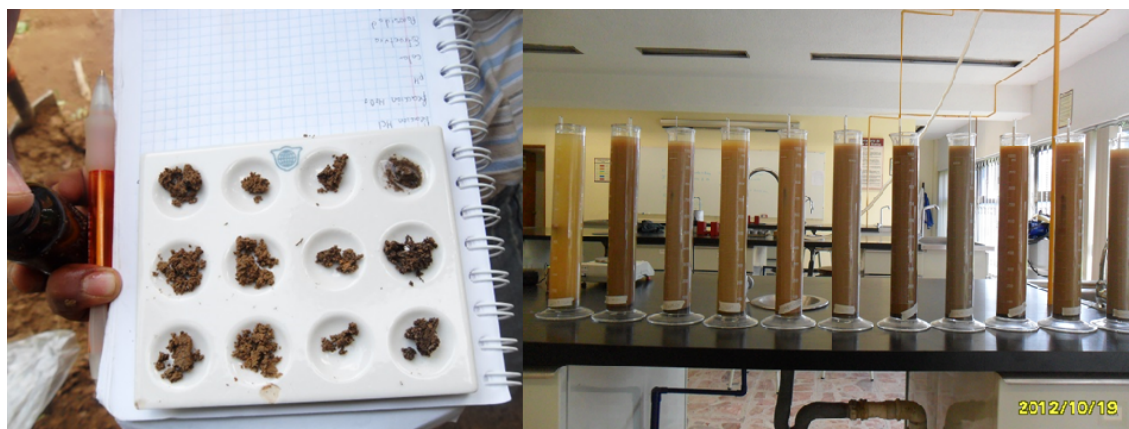


Figura 12: Pruebas en campo y laboratorio de suelos de la microcuenca 02

La descripción del perfil se hizo hasta la profundidad en la que se encontró el horizonte C o el material parental, como parte de la descripción de los horizontes, en cada perfil se reportó el grado de pedregosidad visible en unidades porcentuales.

Se obtuvieron muestras alteradas e inalteradas en cada una de las capas de cada perfil de suelos. Estas muestras se usaron para realizar las siguientes determinaciones en laboratorio:

- Textura del suelo – Método de Day Modificado

- Curva pF con muestras inalteradas – Olla y membrana de presión
- Porosidad de muestras inalteradas – en función de densidad real considerada como 2.65 g/cm^3 y densidad aparente
- Densidad aparente – Método del cilindro
- Conductividad hidráulica – Permeámetro de carga constante
- pH del suelo –Potenciómetro digital
- Materia orgánica – Método de Walkley & Black
- Capacidad de Intercambio Catiónico – Acetato de Amonio 1N

En cada perfil se separaron las capas por color, dureza, presencia de raíces y textura. Posterior a la delimitación de las capas se determinó su color, textura, estructura, consistencia, poros visibles, raíces, presencia de carbonatos, materia orgánica y pH.

Con la información de campo y laboratorio se identificaron cada uno de los horizontes de diagnóstico, con base en los procesos pedogenéticos evidentes, tomando como referencia las clasificaciones definidas en el Mapa Mundial de Suelos de FAO-UNESCO (1990) y la Base de la Referencia Mundial de Suelos WRB (2007).

4.1.4 Suelos

Se realizó el estudio de las propiedades hidráulicas de los suelos que incluyó la descripción de perfiles. El levantamiento en campo se realizó con base en la guía de la FAO (2009). Con la información de campo y laboratorio se clasificaron los horizontes, usando los criterios de la Referencia Mundial de Suelos WRB (2007).

La Microcuenca 02

Los suelos se encuentran sobre una colina de gradiente medio, con pendiente convexa; vegetación fuertemente perturbada, pradera inducida con ganadería extensiva de bovinos, con manejo deficiente en pastizales y ganado; sin afloramientos rocosos. En el Cuadro 2 se presenta el promedio de las características físico-químicas de los suelos de diferentes horizontes de los perfiles estudiados en esta microcuenca. Las características de los suelos de cada uno de los horizontes y perfiles estudiados en la microcuenca se anexan en los Cuadros 40 y 41. De acuerdo a los criterios de la WRB, el suelo de esta microcuenca, se clasifica como Arenosol Háplico. La microcuenca tiene un buen drenaje asociado principalmente a los altos contenidos de arena, baja densidad aparente, contenidos de materia orgánica altos y pH ácido.

Cuadro 2: Características físicas y químicas del suelo en la Microcuenca 02.

| Horizonte | Arcilla (%) | Limo (%) | Arena (%) | Clase textural | Prof. (cm) | ϕ_t (%) | K_{sat} (cm/h) | pH | MO (%) | CIC (cmol/kg) | ρ_b (g/cm^3) |
|-----------|-------------|----------|-----------|----------------|------------|--------------|------------------|-----|--------|---------------|-----------------------|
| A1 | 13.0 | 20.0 | 67.0 | Franco arenoso | 0-22 | 67.2 | 9.4 | 4.8 | 4.1 | 17.6 | 0.9 |
| A2 | 9.5 | 19.0 | 71.5 | Arena francosa | 22-60 | 70.6 | 11.3 | 4.8 | 4.1 | 12.3 | 0.8 |
| C1 | 7.0 | 9.5 | 83.5 | Arena francosa | 60-100 | 66.6 | 15.9 | 5.0 | 2.0 | 5.7 | 0.9 |
| C2 | 8.5 | 10.5 | 81.0 | Arena francosa | 100-160 | 65.2 | | 5.0 | | | 0.9 |

Nota: ϕ_t es la porosidad total, K_{sat} es la conductividad hidráulica saturada, MO es el porcentaje de materia orgánica, CIC es la capacidad de intercambio catiónico y ρ_b es la densidad aparente del horizonte.

En la Figura 13 se muestra uno de los perfiles descritos para este sitio y dos fotografías panorámicas de la vegetación en la microcuenca.



Figura 13: Perfil de suelo y vegetación de la microcuenca 02 Chapultenango
La Microcuenca 09

Los suelos en esta microcuenca se encuentran sobre una colina de gradiente medio, con pendiente convexa, escarpada; vegetación fuertemente perturbada, pradera inducida con ganadería extensiva con manejo deficiente en pastizales y ganado; sin afloramientos rocosos; evidencias de erosión laminar y en canalillos. En el Cuadro 3 se presenta el promedio de las características de dos perfiles estudiados. Los Cuadros 42 y 43 del anexo muestran las características físico químicas de cada horizonte de los perfiles estudiados. Los suelos se clasifican como Arenosol Háplico de acuerdo a WRB y se observan conductividades hidráulicas menores, densidades aparentes

ligeramente mayores y contenidos de materia orgánica más altos, en comparación con los suelos de la Microcuenca 02.

Cuadro 3: Características físicas y químicas del suelo en la Microcuenca 09.

| Horizonte | Arcilla (%) | Limo (%) | Arena (%) | Clase textural | Prof. (cm) | ϕ_t (%) | K_{sat} (cm/h) | pH | MO (%) | CIC (cmol/kg) | ρ_b (g/cm^3) |
|-----------|-------------|----------|-----------|----------------|------------|--------------|------------------|-----|--------|---------------|-----------------------|
| A1 | 16.5 | 23.5 | 60.0 | Franco arenoso | 0-15 | 64.4 | 5.6 | 4.8 | 5.5 | 15.7 | 0.9 |
| A2 | 20.5 | 25.5 | 54.0 | Franco arenoso | 15-60 | 62.2 | 4.6 | 5.3 | 2.5 | 21.6 | 1.0 |
| Bw | 24.0 | 31.0 | 45.0 | Franco | 60-110 | 60.3 | 2.8 | 5.3 | 0.6 | 22.6 | 1.1 |
| C | 22.5 | 40.0 | 37.5 | Franco | 110-148 | 61.6 | | 5.3 | | | 1.0 |

Nota: ϕ_t es la porosidad total, K_{sat} es la conductividad hidráulica saturada, MO es el porcentaje de materia orgánica, CIC es la capacidad de intercambio catiónico y ρ_b es la densidad aparente del horizonte.

En la Figura 14 se muestran uno de los perfiles descritos para este sitio y dos fotografías panorámicas de la vegetación en la microcuenca.



Figura 14: Perfil de suelo y vegetación de la Microcuenca 09 Sunuapa

4.1.5 La red de drenaje

La longitud del cauce principal es medida, desde la parte más alta hasta la salida; e influye en la forma del hidrograma, la magnitud del gasto pico y el tiempo de

concentración. Para la Microcuenca 02, la longitud de cauce es de 315m ,y para la Microcuenca 09, es de 332 m.

La pendiente del cauce principal influye en la velocidad del flujo superficial, y en la duración total de las avenidas; por consiguiente, juega un papel importante en la forma del hidrograma. El cauce de la Microcuenca 02, tiene una pendiente media de 27 %, y el cauce de la Microcuenca 09, de 16 %.

El Perfil longitudinal del cauce, representa gráficamente la variación altitudinal, en las ordenadas, y la distancia horizontal de la corriente principal, en las abscisas. La altura comúnmente se da en metros sobre el nivel del mar y la distancia en metros o kilómetros, medida desde la salida del sitio, hasta el punto más alto o cualquier otro punto de referencia. Los perfiles longitudinales se muestran en las Figuras 15.

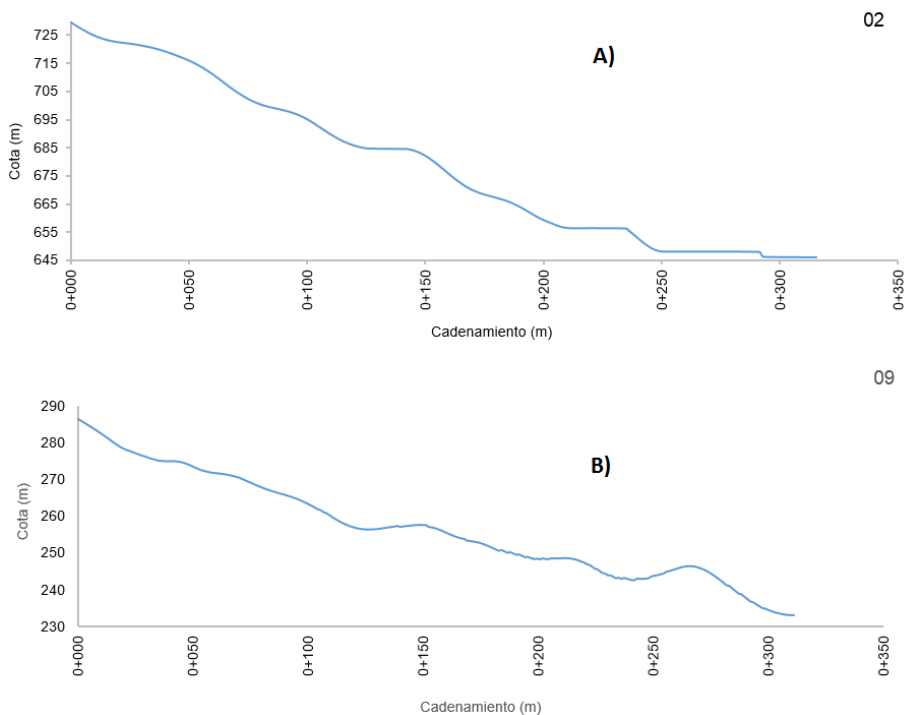


Figura 15: Perfil longitudinal del cauce de las Microcuencas 02 (A) y 09 (B).

4.1.6 Precipitación

En cada microcuenca se midió la precipitación mediante un pluviógrafo de flotador tipo 95c, con banda de desarrollo continua a nivel mensual. En este tipo de pluviógrafo el ascenso se produce por el aumento de lluvia captada, hasta que el recipiente que contiene el flotador se llena y entonces se vacía automáticamente, por

medio de un sifón autocebante. El pluviógrafo hace sus registros con una pluma sobre la gráfica, que va montada en un cilindro movido por un sistema de relojería; este mecanismo se llama Sistema Hellman, Aranda (1984).

Los pluviógrafos se ubicaron en lugares estratégicos que fueran lo más representativos de las condiciones de las microcuencas, se procuró que se ubicaran en sitios despejados y seguros para garantizar la integridad de los equipos, incluso fue necesario establecer una protección metálica. En la Figura 16 se muestra el pluviógrafo instalado en la Microcuenca 02.



Figura 16: Pluviógrafo en la Microcuenca 02.

La precipitación se obtuvo mediante la lectura de los pluviogramas generados por los pluviógrafos. Para procesar las gráficas se usó el software "Procesador de pluviogramas y limnigramas", el cual fue actualizado en el marco del programa de CONAGUA (2012). Para usar el programa se necesita un lápiz óptico, para marcar los puntos de inflexión, en una pantalla táctil; con el software, estos puntos son procesados para calcular en cada evento la lámina precipitada (mm), la intensidad (mm/h), y la duración (minutos), posteriormente se acumulan los valores diarios para tener los valores mensuales y finalmente el valor anual.

4.1.7 Ecurrimiento

El escurrimiento se midió a la salida de la microcuenca, utilizando una estructura aforadora (aforador tipo H 4.5); el aforador cuenta con un canal de llegada de concreto con sección rectangular y un limnógrafo modelo F-95 Stevens de registro continuo. El limnógrafo se montó en el aforador y el aforador se empotró al canal de llegada. El aforador tiene un vertedor triangular, para el cual se conoce la curva de calibración (Brakensiek *et al.*, 1979), y en un extremo del canal de llegada, cerca de la sección triangular, se encuentra un cilindro de metal con perforaciones verticales a cada 5 cm, el cual conecta el nivel del flujo en el vertedor mediante un flotador.

Las variaciones de nivel se transmiten a un tambor en el cual una plumilla dibuja la gráfica de niveles. Este dispositivo tiene un sistema de relojería que permite el avance horizontal de la plumilla sobre el papel. El vertedor de la Microcuenca 02 se encuentra en las siguientes coordenadas ($17^{\circ}19.73'$, $-93^{\circ}7.18'$) y el de la Microcuenca 09 en las coordenadas ($17^{\circ}28.64'$, $-93^{\circ}14.33'$).

Para seleccionar la dimensión adecuada del aforador tipo H se analizó el área de aporte, la hidrología y los usos de suelo de la microcuenca, considerando una avenida extraordinaria para un periodo de retorno de 10 años. El cálculo del gasto máximo se realizó con el Método Racional y con el modelo de Cook (Zöbisch, 1988).

Los Aforadores H fueron diseñados, por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos, para medir los caudales con exactitud y continuidad, a partir de parcelas de escorrentía o de pequeñas cuencas experimentales. El aforador es capaz de medir caudales con exactitud, no requiere un estanque amortiguador y es puede de dar paso a una escorrentía con fuerte carga de sedimentos.

En ambas microcuencas el gasto no supera los $2.36 \text{ m}^3/\text{s}$, por lo cual se construyó el vertedor tipo H 4.5. Este tipo de vertedores se calibraron en laboratorio y en la Ecuación 9 se presenta la fórmula empírica que expresa el gasto, en m^3/s , como función del tirante registrado por el limnógrafo (h), en m (Figura 17).

$$\log(Q) = 0.0588 + 2.3032\log(h) + 0.2547\log(h)^2 \quad (9)$$



Figura 17: Aforador tipo H4.5 en funcionamiento.

Cada limnógrafo se procesó con el software "Procesador de pluviogramas y limnogramas", en el cual se debe digitalizar el mayor número de puntos posibles de cada evento, de tal forma que permitan delimitar el área bajo la curva. Cuando se digitaliza un limnógrafo, se puede obtener el hidrograma, el gasto máximo, el tiempo

que duro el evento y asociado con la lámina precipitada y escurrida, se calcula el coeficiente de escurrimiento. En la Figura 18 se muestra la gráfica de elevaciones registradas por el escurrimiento del día 29 de agosto del 2013, en la microcuenca M-02 y a la derecha se presentan los resultados reportados por el software, este proceso se aplicó para cada escurrimiento, después se acumularon los eventos diarios para calcular el mensual y anual.



Figura 18: Procesamiento de información del limnógrafo.

4.1.8 Medición del flujo base

El flujo base está influenciado por factores como: a) precipitación (tipo, cantidad, intensidad, estacionalidad y variabilidad), b) geomorfología y geología (área de drenaje, pendiente, tipo y profundidad de suelo); y c) su cobertura vegetal así como el uso del suelo y su manejo. En las microcuencas el flujo base tuvo una amplia variación; cuando se presentaban los eventos de lluvia se incrementaba el flujo base hasta constituirse en flujo directo y cuando no se presentaban lluvias el flujo base disminuía considerablemente y la estructura aforadora no alcanzaba a medirlos. Por esta razón, la mayor parte de los hidrogramas no registraban el flujo base inicial antes de presentarse el flujo directo producto de la lluvia. El flujo se registró mediante el aforo volumétrico, el cual consistió en medir tres veces el tiempo necesario para llenar una cubeta de 20 L y registrar el promedio del gasto en litros por segundo.

4.2 Corrida del modelo

Se usó la herramienta AGWA 2.0 como interface para parametrizar y manejar el modelo. Se utilizó un MDE con resolución de 1 m (proyección UTM zona 15 N y datum WGS84) para discretizar la microcuenca en elementos del modelo y calcular sus pendientes. Se parametrizaron los elementos de la microcuenca usando la información de suelo y uso del suelo reportados por CONAGUA (2012).

La configuración de las microcuencas se realizó mediante varios ensayos, hasta lograr que las laderas identificadas en campo se representaran como elementos independientes. En las Figuras 19 y 20 se muestra la discretización para las Microcuencas 02 y 09, respectivamente. La configuración de ambas microcuencas está compuesta por ocho laderas (*hillslopes*) y tres canales (*channel elements*), como lo requiere el model KINEROS.

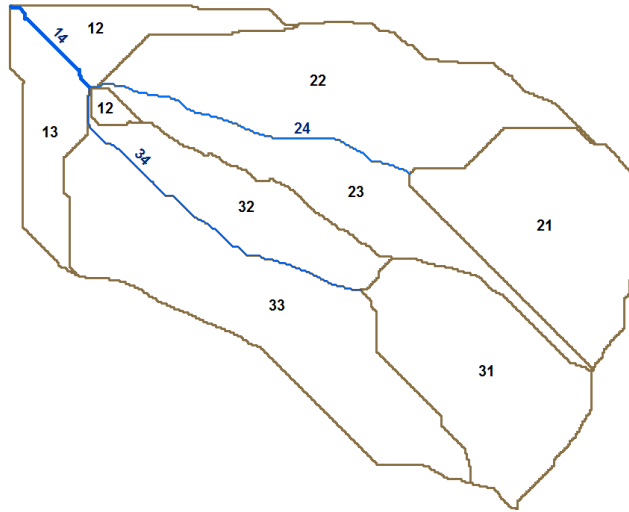


Figura 19: Discretización de elementos de la Microcuenca 02.

4.3 Valores iniciales de parámetros

El modelo KINEROS se generó para zonas áridas, por lo anterior resultó importante establecer cuidadosamente los valores iniciales de los parámetros.

Los canales de las microcuencas en estudio presentan largos periodos de flujo base y vegetación abundante en ambas márgenes del cauce y el lecho; por lo tanto, el componente de infiltración en el canal es poco representativo y la rugosidad es alta, de acuerdo con la clase sugerida por Sotelo (2002) para cauces naturales en tramos con mucha hierba (0.15). Se estableció el valor de conductividad hidráulica como 0 cm/h y un valor para el coeficiente de rugosidad (n) de 0.15, el máximo considerado por el modelo. Estos valores fueron sugeridos por el M.C. I. Shea C. Burns (USDA-ARS, Tucson, AZ. comunicación personal, 2013).

Para la cobertura vegetal en laderas *planes* se usaron los valores presentados en el Cuadro 4, los cuales se asignaron, principalmente, usando valores de clases integradas al modelo: para pastizal se utilizaron valores correspondientes a *grassland*

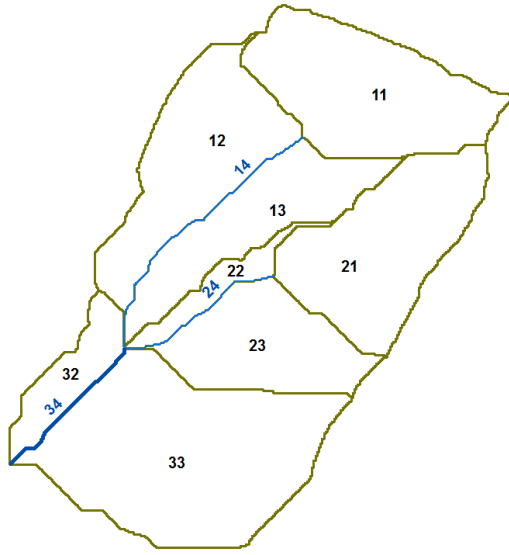


Figura 20: Discretización de elementos de la Microcuenca 09.

herbaceous, para áreas degradadas o simplemente suelo desnudo se asignaron valores de la clase *barren* y para los relictos de selva tropical se establecieron los valores de *Evergreen Forest*. Sin embargo, se modificaron los valores de porcentaje de cobertura vegetal y de intercepción, con base en resultados de mediciones reportadas por Wallace y Mc.Jannet (2012), en zonas de selva tropical *Complex Mesophyll Vine Forest* de Australia, con precipitaciones anuales de 3068 mm.

Cuadro 4: Valores iniciales para parámetros de cobertura en laderas de ambas microcuencas.

| Nombre | % cobertura | Intercepción (mm) | Coefficiente de rugosidad (n) |
|----------|-------------|-------------------|-----------------------------------|
| Selva | 70 | 3.60 | 0.800 |
| Pastizal | 25 | 2.00 | 0.130 |
| Suelo | 0 | 0.00 | 0.035 |

Los parámetros iniciales del suelo para la Microcuenca 02 se muestran en el Cuadro 5. Estos valores se estimaron considerando los datos de la capa superficial de los Cuadros 2 y 3 y son representativos del área de pastizal. De acuerdo con Woolhiser *et al.* (1990), el modelo ajusta el parámetro Ks , en función de las características de la vegetación, mediante la Ecuación 10.

$$Ks = Ks(\text{tables}) \times (2.71828^{(\text{cover} \times 0.0105)}) \times (1 - \text{pctImp}) \quad (10)$$

Donde: Ks es el valor que se asignará a un elemento (valor medido), $Ks(\text{tables})$

es el valor de Ks que se introduce a la tabla del suelo, $cover$ es el porcentaje de cobertura vegetal que se indica en el Cuadro 4 y $pctImp$ es el porcentaje de área impermeable el cual se consideró como 0 para ambas microcuencas. El parámetro G está inversamente relacionado con el valor de Ks y se consultó en manual del usuario del modelo (Woolhiser *et al.*, 1990); el valor de porosidad total se estimó en el laboratorio y se asoció con los valores sugeridos en el manual del usuario para obtener el valor de S_{max} (Cuadro 5).

Cuadro 5: Valores iniciales para parámetros del suelo.

| Parámetro | Valor inicial M-02 | Valor inicial M-09 | Fuente |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------------------|
| $Ks(mm/h)$ | 94 | 56 | Estudio de suelos CONAGUA (2012) |
| $G(cm)$ | 147 | 147 | Woolhiser <i>et al.</i> (1990) |
| Porosidad total $POR(cm^3/cm^3)$ | 67 | 64 | Estudio de suelos CONAGUA (2012) |
| Saturación máxima $S_{max}(cm)$ | 0.93 | 0.93 | Woolhiser <i>et al.</i> (1990) |

4.4 Calibración

La calibración del modelo se realizó en las Microcuencia 09 y 02, mediante el análisis de cuatro y tres eventos de lluvia - escurrimiento, respectivamente. La calibración utilizada fue manual, con base en la comparación del hidrograma simulado versus el observado.

4.4.1 Criterios para calibrar el modelo en zonas húmedas

De acuerdo con Smith *et al.* (2002) el escurrimiento puede ocurrir por dos tipos de límites hidráulicos del suelo, pero en ambos la superficie está saturada. Un caso se presenta con lluvias de baja intensidad y larga duración en climas húmedos, en los cuales el suelo comienza a saturarse en las capas inferiores, donde existen capas compactas o roca que limitan la infiltración. Alternativamente la intensidad de lluvia puede exceder la capacidad de infiltración de la capa superficial, ocasionando que esta se sature y se origine el escurrimiento. El primer mecanismo se conoce como flujo subsuperficial e implica factores de topografía, profundidad de suelos, horizontes, así como las características hidráulicas del suelo. El segundo mecanismo que ocasiona escurrimiento se denomina flujo directo o hortoniano.

A pesar de que los dos mecanismos que producen escurrimiento son bien comprendidos por los hidrólogos, no siempre es posible determinar cuál mecanismo controla el escurrimiento en un área específica. En la zona en estudio se anticipó la existencia de un componente importante de flujo subsuperficial; por lo anterior, se seleccionaron los eventos de corta duración y mayor intensidad medidos durante el

año 2013 y se decidió calibrar los eventos hasta la ocurrencia del primer gasto pico. Esta aclaración parte supuesto que el flujo hortoniano controla la respuesta inicial de los eventos seleccionados.

4.4.2 Proceso de calibración

Se calibró el modelo en la predicción de escurrimientos con el uso de pocos eventos medidos (Goodrich *et al.*, 2012). Se modificaron los parámetros: conductividad hidráulica saturada (K_s), capilaridad neta efectiva (G) y rugosidad (n); primero se seleccionaron límites físicamente realistas para cada parámetro, luego estos dividieron en rangos que se ingresaron al modelo, mediante coeficientes denominados multiplicadores (M).

En la primera parte se calibró cada evento tomando como referencia el error porcentual del gasto pico (Moriassi *et al.*, 2007), el cual se calculó dividiendo la diferencia entre el gasto pico simulado y el medido entre el gasto pico medido, expresando el resultado en porcentaje. Después de cada evento calibrado se seleccionó la mejor combinación de parámetros y se corrieron todos los eventos con cada combinación de parámetros. Se usó el coeficiente de eficiencia de Nash-Sutcliffe (N-S) para definir si existía una combinación de parámetros con los cuales el modelo representara mejor a todos los eventos analizados.

5 Resultados

5.1 Balance de agua

En las microcuencas de estudio la distribución temporal de la lluvia ocurre entre los meses de abril a noviembre. Sin embargo, durante el periodo de medición se presentaron algunos datos perdidos, por mantenimiento de los mecanismos. A continuación en las Figuras 21 y 22 se presentan los datos medidos de precipitación, escurrimiento superficial y flujo base para las Microcuencia 02 y 09, respectivamente. Los valores de las abscisas representan los días julianos del año 2013. Algunos datos de precipitación y escurrimiento que no aparecen se debe a que no se midieron y no implica que no hayan existido. Por ejemplo, la falta de medición de flujo base del periodo entre el día juliano 309 y 337, en la Microcuencia 02, y en el periodo del día juliano 249 a 297, de la Microcuencia 09.

En los Cuadros 6 y 7 se muestra el balance de agua para las microcuencas en estudio, el cual a pesar de los datos perdidos presenta un estimado de la proporción del balance hidrológico.

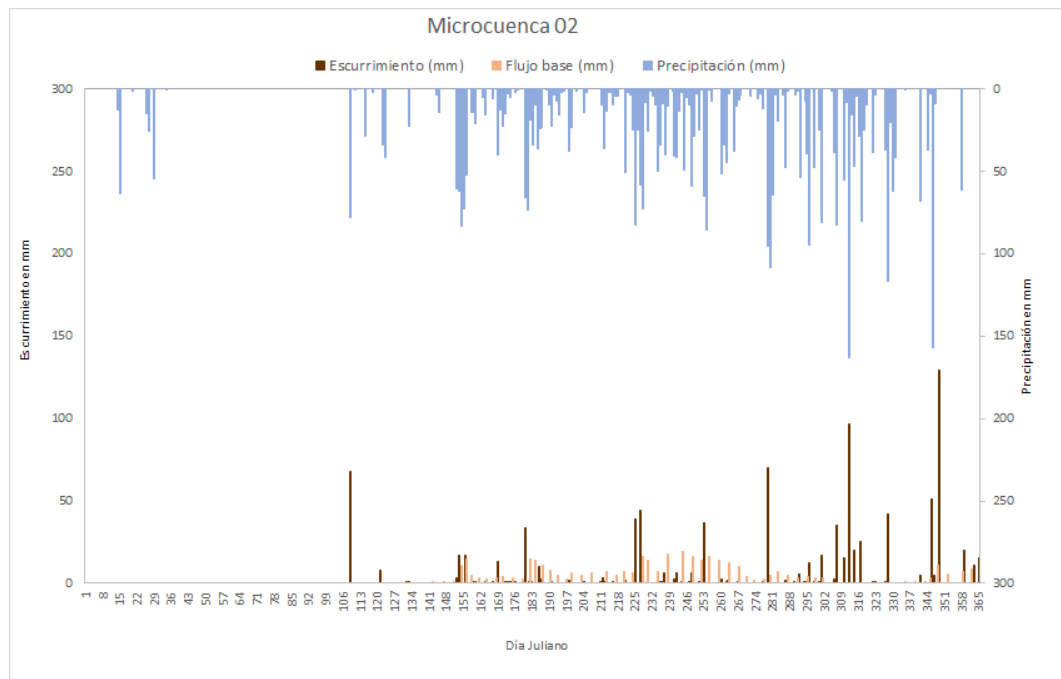


Figura 21: Datos de lluvia, escurrimiento y flujo base de la Microcuencia 02.

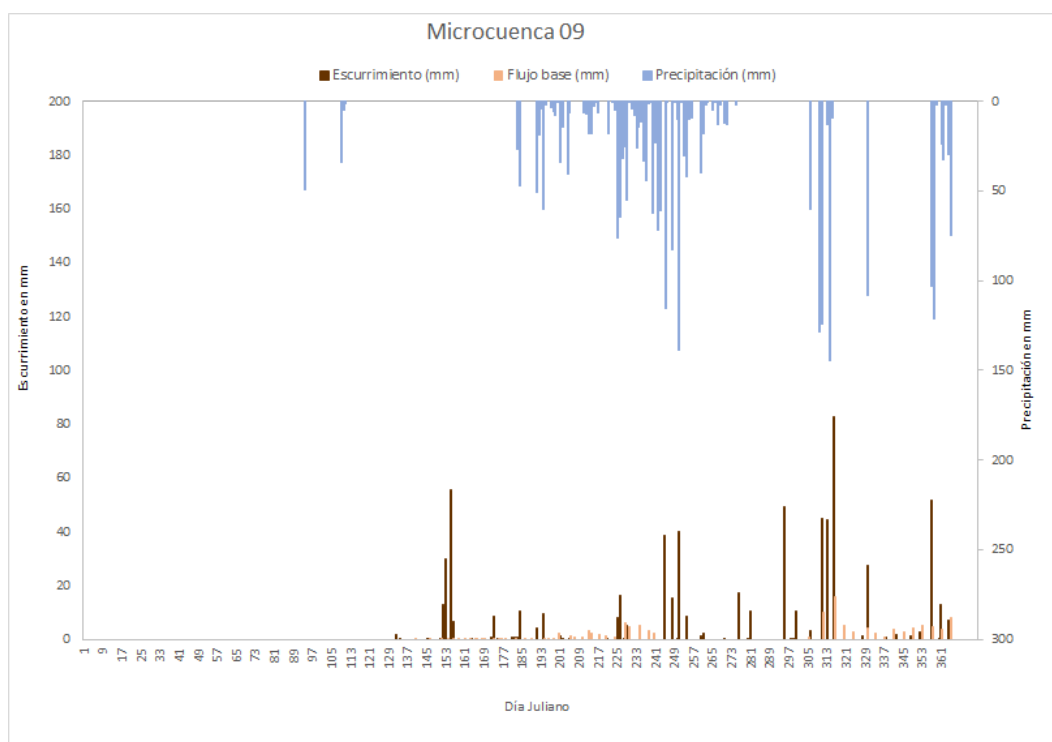


Figura 22: Datos de lluvia, escurrimiento y flujo base de la Microcuenca 09.

Cuadro 6: Balance de agua para la Microcuenca 02.

| Parámetro | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| Precipitación (mm) | 173 | 1 | 0 | 109 | 116 | 649 | 333 | 644 | 537 | 719 | 880 | 335 | 4,495 |
| Ecurrimiento (mm) | 0 | 0 | 0 | 68 | 8 | 91 | 22 | 107 | 48 | 109 | 241 | 237 | 931 |
| Flujo base (mm) | 0 | 0 | 0 | ND | 10 | 178 | 275 | 344 | 393 | 147 | ND | 165 | 1,513 |
| ET estimada (mm) | 173 | 1 | 0 | NE | 97 | 380 | 37 | 193 | 95 | 462 | NE | NE | 1,438 |

ND = sin datos medidos, NE = no estimada

Cuadro 7: Balance de agua para la Microcuenca 09.

| Parámetro | Ene | Feb | Mar | Abr | May | Jun | Jul | Ago | Sep | Oct | Nov | Dic | Total |
|--------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|--------------|
| Precipitación (mm) | 0 | 0 | 0 | 89 | ND | ND | 335 | 685 | 545 | 2 | 588 | 390 | 2,634 |
| Ecurrimiento (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 2 | 116 | 27 | 31 | 107 | 88 | 204 | 80 | 656 |
| Flujo base (mm) | 0 | 0 | 0 | 0 | 13 | 13 | 26 | 107 | ND | ND | 174 | 143 | 475 |
| ET estimada (mm) | 0 | 0 | 0 | 89 | NE | NE | 282 | NE | NE | NE | 210 | 166 | 748 |

ND = sin datos medidos, NE = no estimada

En la Microcuenca 02 el 54% de la precipitación se convirtió en escurrimiento y el 62% ocurrió como flujo base. En el caso de la Microcuenca 09 el 43 % del agua precipitada escurrió y de esta solo el 42 % lo hizo en forma de flujo base. En general, la precipitación anual en la Microcuenca 02 fue mayor y en ambas microcuencas el flujo base fue un componente importante del balance de agua. La

ET (evapotranspiración) se estimó con la sustracción de los diferentes componentes del escurrimiento de la precipitación. Es importante señalar que en la Microcuenca 09 no midieron los datos de precipitación de los meses de mayo y junio; sin embargo, si se midieron los datos de escurrimiento y de flujo base, lo cual indica que a nivel anual el balance de agua es incompleto y las comparaciones deberían ser por pares de eventos de lluvia y escurrimiento medidos.

5.2 Relación precipitación- escurrimiento

En las cuencas hidrológicas conocer el proceso de transformación de la lluvia en escurrimiento genera datos importantes para revisar o diseñar las estructuras hidráulicas que están localizadas en sus áreas de aportación y para apoyar en la evaluación de planes de manejo.

La relación precipitación-escurrimiento se obtuvo al graficar la lluvia, en el eje de las abscisas, y el escurrimiento, en el eje de las ordenadas. Para generar esta gráfica se eliminaron eventos "raros", referidos a situaciones en las cuales se detectó escurrimiento sin que se registrara lluvia; probablemente, para estos eventos solo llovió en la parte alta, lo cual se explica por la fuerte variación espacial de la precipitación. Para microcuencas de este tamaño Goodrich *et al.* (2012) recomiendan usar al menos tres pluviógrafos. En la Figura 23 se presenta la lluvia-escurrimiento y su correspondiente curva de ajuste a una función potencial.

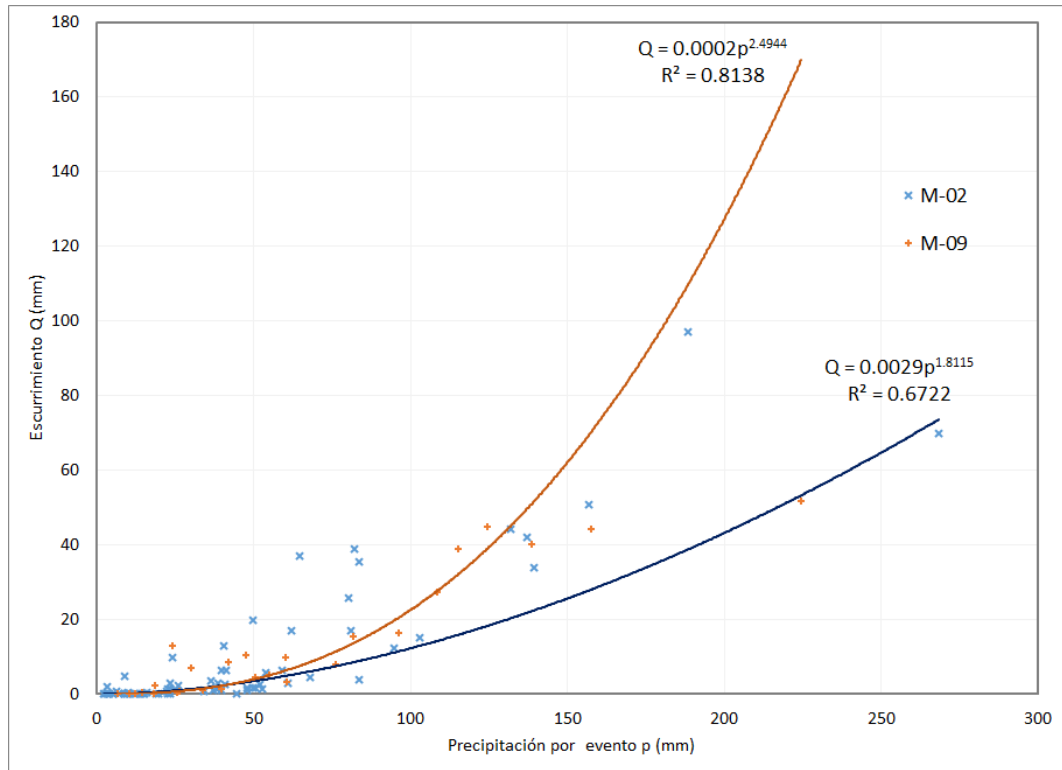


Figura 23: Precipitación- escurrimiento.

Los Cuadros con el detalle de todos los eventos medidos de lluvia y escurrimiento se anexan en el apartado 9.4 Pluviógramas y 9.5 Limnígramas.

Para la Microcuenca 02 se observó un coeficiente de escurrimiento promedio de 0.12, con un máximo de hasta 0.62 y un coeficiente de variación de 134 %; por otra parte, el R^2 para la curva de ajuste fue 0.67 (Cuadro 8). En el caso de la Microcuenca 09 se tuvo un coeficiente de escurrimiento promedio de 0.14, con un máximo de 0.54, un coeficiente de variación de 95 % y R^2 de 0.81 (Cuadro 9). Se observa que el gradiente de la curva de ajuste es mayor para la Microcuenca M-09. Esto puede deberse a que los suelos de esta microcuenca tienen mayor proporción de arcilla y son menos porosos. Sin embargo, al analizar las gráficas, los datos medidos muestran respuestas hidrológicas similares en ambas microcuencas; cabe señalar fue menor el número de datos medidos para la Microcuenca 09, porque no se midió precipitación en los meses de mayo y junio como se indicó previamente.

En los Cuadros 8 y 9 se presentan los datos de escurrimiento y precipitación seleccionados, también se incluye información con respecto a la duración, intensidad media e intensidad máxima de cada evento de lluvia. Es importante destacar que en las observaciones se indicó si es un evento diario o es un grupo de días por evento y el tiempo de inicio de los escurrimientos, esta información es relevante por largo tiempo de duración de los eventos de lluvia y escurrimiento.

Cuadro 8: Eventos seleccionados para la Microcuenca 02.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Dur. (min) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|---|
| 13.5.2013 | 2.17 | 0.22 | 22.50 | 519 | 18.64 | 12.18 | 0.0099 | |
| 1.6.2013 | 33.89 | 3.10 | 60.80 | 574 | 106.00 | 81.22 | 0.0510 | En el limnigrama está desplazado 6 h |
| 2.6.2013 | 35.64 | 17.10 | 61.80 | 719 | 84.00 | 63.95 | 0.2768 | Solo se consideró el escurrimiento mientras duró la lluvia, porque se trabó la plumilla |
| 3.6.2013 | 13.19 | 3.76 | 83.60 | 614 | 51.60 | 44.63 | 0.0450 | Ocurrió una lluvia 50 mm 5 h antes, limnigrama incompleto |
| 5.6.2013 | 32.19 | 1.29 | 52.50 | 640 | 78.86 | 67.99 | 0.0245 | Se sumaron dos eventos del mismo día |
| 8.6.2013 | 0.76 | 0.04 | 5.10 | 101 | 9.43 | 7.49 | 0.0075 | Empezó a escurrir 15 min. antes de que lloviera |
| 8.6.2013 | 0.51 | 0.06 | 8.80 | 35 | 45.20 | 27.45 | 0.0071 | |
| 9.6.2013 | 0.51 | 0.07 | 12.40 | 133 | 13.97 | 11.23 | 0.0053 | |
| 13.6.2013 | 4.22 | 0.40 | 15.80 | 61 | 35.76 | 29.87 | 0.0251 | |
| 16.6.2013 | 4.22 | 0.71 | 6.20 | 38 | 25.92 | 18.98 | 0.1140 | |
| 18.6.2013 | 21.58 | 13.07 | 40.30 | 1,503 | 26.94 | 21.38 | 0.3242 | |
| 20.6.2013 | 17.72 | 1.30 | 22.70 | 172 | 42.00 | 36.22 | 0.0571 | |
| 21.6.2013 | 0.76 | 0.05 | 15.00 | 490 | 23.14 | 13.70 | 0.0035 | |
| 22.6.2013 | 0.30 | 0.02 | 3.10 | 113 | 15.20 | 7.64 | 0.0050 | |
| 23.6.2013 | 1.05 | 0.06 | 5.20 | 32 | 23.25 | 15.99 | 0.0116 | |
| 25.6.2013 | 0.51 | 0.12 | 2.20 | 12 | 22.50 | 10.08 | 0.0553 | |
| 29.6.2013 | 98.91 | 33.79 | 139.30 | 1,035 | 148.20 | 120.93 | 0.2425 | Se sumó la precipitación con fecha 30.06.2013 |
| 1.7.2013 | 2.62 | 0.13 | 19.00 | 561 | 38.40 | 23.96 | 0.0069 | |
| 2.7.2013 | 3.11 | 0.64 | 34.10 | 473 | 23.91 | 21.55 | 0.0188 | |
| 5.7.2013 | 25.85 | 9.90 | 24.00 | 136 | 40.80 | 36.33 | 0.4126 | |
| 6.7.2013 | 15.36 | 2.90 | 23.30 | 80 | 63.60 | 55.54 | 0.1246 | |
| 10.7.2013 | 5.48 | 0.75 | 22.30 | 389 | 44.40 | 33.39 | 0.0338 | |
| 17.7.2013 | 15.36 | 1.63 | 37.70 | 383 | 47.40 | 42.09 | 0.0433 | |
| 18.7.2013 | 20.25 | 1.50 | 23.20 | 351 | 36.75 | 22.27 | 0.0645 | Empezó a llover a las 16:45 h y a escurrir a las 14.33 h |
| 23.7.2013 | 4.83 | 0.15 | 14.00 | 381 | 42.60 | 32.27 | 0.0109 | |
| 30.7.2013 | 1.76 | 0.36 | 9.90 | 363 | 53.33 | 33.44 | 0.0360 | |
| 31.7.2013 | 35.64 | 3.60 | 36.30 | 192 | 75.00 | 60.69 | 0.0993 | |
| 1.8.2013 | 2.62 | 0.09 | 13.60 | 331 | 57.60 | 36.33 | 0.0068 | |
| 4.8.2013 | 1.05 | 0.07 | 9.50 | 240 | 31.00 | 19.97 | 0.0069 | Empezó a llover a las 18:20 hr y a escurrir a las 17:06 h |
| 9.8.2013 | 28.93 | 1.71 | 50.30 | 622 | 75.75 | 65.03 | 0.0339 | |
| 12.8.2013 | 18.96 | 0.94 | 25.10 | 255 | 67.20 | 42.07 | 0.0373 | Empezó a llover a las 13:20 h y a escurrir a las 10:48 h |
| 13.8.2013 | 89.78 | 39.01 | 81.90 | 330 | 92.40 | 58.49 | 0.4764 | |
| 15.8.2013 | 133.02 | 44.20 | 132.00 | 33 | 2.18 | 1.66 | 0.3349 | Se sumó la lluvia de 3 días 15, 16 y 17 |
| 18.8.2013 | 13.19 | 2.34 | 26.00 | 168 | 34.62 | 29.05 | 0.0900 | |
| 22.8.2013 | 20.25 | 1.74 | 49.80 | 399 | 92.40 | 59.32 | 0.0350 | |
| 23.8.2013 | 27.37 | 0.95 | 34.10 | 187 | 80.57 | 53.35 | 0.0279 | |

Continúa en la siguiente página

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Dur. (min) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|--|
| 24.8.2013 | 5.48 | 0.20 | 8.70 | 262 | 35.40 | 23.82 | 0.0232 | |
| 25.8.2013 | 67.84 | 6.48 | 39.70 | 682 | 75.75 | 60.21 | 0.1632 | |
| 29.8.2013 | 81.15 | 2.61 | 40.70 | 635 | 88.80 | 74.60 | 0.0640 | |
| 30.8.2013 | 32.19 | 6.42 | 41.30 | 655 | 43.50 | 42.06 | 0.1554 | |
| 1.9.2013 | 0.51 | 0.01 | 2.30 | 413 | 4.00 | 3.45 | 0.0042 | La lluvia inició a las 15:07 h |
| 4.9.2013 | 0.30 | 0.01 | 9.60 | 360 | 7.60 | 3.68 | 0.0013 | |
| 5.9.2013 | 28.93 | 6.42 | 59.00 | 622 | 43.92 | 30.04 | 0.1087 | |
| 8.9.2013 | 3.65 | 0.11 | 10.40 | 52 | 25.20 | 22.61 | 0.0103 | |
| 8.9.2013 | 0.76 | 0.06 | 14.70 | 306 | 25.80 | 14.96 | 0.0040 | |
| 10.9.2013 | 156.29 | 37.10 | 64.40 | 552 | 97.37 | 85.00 | 0.5760 | |
| 17.9.2013 | 17.72 | 2.65 | 51.80 | 772 | 57.30 | 42.73 | 0.0512 | La lluvia inició a las 13:48 h, pero la mayor parte del evento es congruente |
| 19.9.2013 | 0.51 | 0.02 | 44.50 | 341 | 95.72 | 61.65 | 0.0004 | |
| 20.9.2013 | 6.90 | 1.99 | 3.20 | 58 | 12.00 | 5.58 | 0.6204 | La lluvia comenzó a las 19:23 |
| 24.9.2013 | 0.51 | 0.05 | 6.80 | 367 | 11.80 | 7.20 | 0.0078 | |
| 4.10.2013 | 1.05 | 0.08 | 11.60 | 352 | 16.82 | 14.09 | 0.0065 | |
| 6.10.2013 | 177.35 | 70.01 | 268.30 | 1,596 | 143.80 | 68.22 | 0.2610 | Se sumó la lluvia del 7 y 8 |
| 10.10.2013 | 0.76 | 0.08 | 19.70 | 154 | 25.60 | 19.63 | 0.0039 | |
| 13.10.2013 | 17.72 | 1.83 | 47.80 | 579 | 62.40 | 42.51 | 0.0384 | |
| 17.10.2013 | 0.30 | 0.03 | 3.70 | 144 | 15.00 | 6.74 | 0.0070 | |
| 19.10.2013 | 25.85 | 5.64 | 53.80 | 990 | 90.90 | 56.87 | 0.1048 | |
| 21.10.2013 | 0.76 | 0.03 | 7.10 | 366 | 24.00 | 13.36 | 0.0046 | |
| 22.10.2013 | 5.48 | 1.15 | 39.60 | 592 | 42.48 | 28.65 | 0.0291 | |
| 23.10.2013 | 8.49 | 12.44 | 94.70 | 2,701 | 28.50 | 23.61 | 0.1313 | |
| 25.10.2013 | 4.83 | 0.92 | 47.70 | 1,647 | 29.45 | 26.12 | 0.0194 | |
| 27.10.2013 | 0.76 | 0.15 | 23.30 | 1,405 | 28.50 | 14.14 | 0.0065 | |
| 28.10.2013 | 190.72 | 17.05 | 80.90 | 693 | 110.10 | 78.46 | 0.2108 | |
| 2.11.2013 | 58.14 | 2.97 | 38.70 | 430 | 93.12 | 64.79 | 0.0768 | |
| 3.11.2013 | 181.74 | 35.39 | 83.70 | 1,228 | 92.40 | 54.34 | 0.4229 | |
| 6.11.2013 | 45.12 | 15.15 | 102.70 | 1,037 | 43.20 | 20.36 | 0.1475 | Se sumó la lluvia del 7 |
| 8.11.2013 | 168.74 | 97.09 | 188.30 | 1,314 | 37.92 | 20.47 | 0.5156 | Se sumó la lluvia del 9 |
| 10.11.2013 | 39.29 | 19.75 | 49.60 | 1,268 | 37.33 | 32.61 | 0.3983 | |
| 13.11.2013 | 105.28 | 25.66 | 80.30 | 1,396 | 89.52 | 64.56 | 0.3195 | |
| 18.11.2013 | 9.34 | 1.33 | 38.30 | 406 | 78.13 | 46.73 | 0.0348 | |
| 19.11.2013 | 0.51 | 0.17 | 3.90 | 386 | 13.44 | 6.43 | 0.0424 | |
| 23.11.2013 | 5.48 | 1.03 | 37.10 | 664 | 53.60 | 32.42 | 0.0278 | |
| 24.11.2013 | 47.17 | 42.00 | 137.10 | 2,601 | 52.40 | 17.02 | 0.3064 | Se sumó la lluvia del 25 |
| 7.12.2013 | 16.52 | 4.63 | 68.00 | 2,097 | 20.27 | 15.33 | 0.0681 | |
| 12.12.2013 | 152.26 | 50.84 | 156.60 | 1,798 | 58.97 | 38.82 | 0.3247 | |
| 13.12.2013 | 7.67 | 4.96 | 8.70 | 453 | 9.27 | 7.27 | 0.5705 | |
| Mín. | 0.30 | 0.01 | 2.20 | 12.000 | 2.180 | 1.660 | 0.0004 | |
| Máx. | 190.72 | 97.09 | 268.30 | 2,701.000 | 148.200 | 120.930 | 0.620 | |
| Promedio | 32.10 | 8.83 | 44.16 | 600.520 | 49.224 | 34.785 | 0.120 | |
| Desv. est. | 49.37 | 17.50 | 46.82 | 574.720 | 32.534 | 23.971 | 0.162 | |
| Coef. de var. | 1.54 | 1.98 | 1.06 | 0.957 | 0.661 | 0.689 | 1.341 | |

Cuadro 9: Eventos seleccionados para la Microcuenca 09.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Dur. (min) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|----------------------|-----------------------|---------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|---|
| 2.7.2013 | 4.22 | 0.63 | 26.40 | 332 | 38.70 | 28.76 | 0.0239 | |
| 3.7.2013 | 30.54 | 10.44 | 47.30 | 345 | 96.00 | 63.28 | 0.2208 | |
| 10.7.2013 | 55.84 | 4.44 | 50.40 | 208 | 119.60 | 78.44 | 0.0881 | |
| 13.7.2013 | 30.54 | 9.78 | 60.10 | 492 | 76.00 | 50.27 | 0.1628 | |
| 20.7.2013 | 17.72 | 1.23 | 33.70 | 119 | 35.60 | 29.68 | 0.0364 | |
| 21.7.2013 | 13.19 | 0.44 | 14.50 | 97 | 127.20 | 58.45 | 0.0302 | |
| 24.7.2013 | 0.76 | 0.02 | 6.50 | 198 | 35.25 | 20.44 | 0.0024 | |
| 1.8.2013 | 6.17 | 0.27 | 18.20 | 335 | 100.29 | 58.69 | 0.0149 | |
| 2.8.2013 | 1.76 | 0.04 | 17.90 | 146 | 36.34 | 23.63 | 0.0023 | |
| 9.8.2013 | 3.11 | 0.07 | 18.20 | 480 | 64.50 | 42.79 | 0.0040 | |
| 13.8.2013 | 98.91 | 8.11 | 76.00 | 444 | 126.00 | 94.86 | 0.1067 | |
| 14.8.2013 | 81.15 | 16.46 | 96.30 | 1,080 | 139.20 | 46.60 | 0.1709 | El escurrimiento registrado incluye la precipitación del 14 y 15 |
| 16.8.2013 | 6.17 | 0.54 | 25.50 | 494 | 67.33 | 50.94 | 0.0211 | |
| 17.8.2013 | 58.14 | 5.10 | 54.90 | 637 | 101.00 | 74.89 | 0.0929 | |
| 2.9.2013 | 108.55 | 38.86 | 115.20 | 997 | 125.00 | 110.01 | 0.3373 | |
| 5.9.2013 | 41.19 | 15.56 | 81.50 | 992 | 60.00 | 36.02 | 0.1909 | |
| 7.9.2013 | 0.51 | 0.02 | 10.20 | 201 | 19.80 | 15.73 | 0.0017 | |
| 8.9.2013 | 502.60 | 40.29 | 138.40 | 779 | 142.80 | 113.76 | 0.2911 | |
| 11.9.2013 | 156.29 | 8.73 | 41.90 | 395 | 78.00 | 75.32 | 0.2083 | |
| 17.9.2013 | 27.37 | 1.48 | 39.60 | 648 | 45.60 | 20.58 | 0.0373 | |
| 18.9.2013 | 37.44 | 2.41 | 18.30 | 110 | 45.00 | 40.23 | 0.1318 | |
| 27.9.2013 | 0.76 | 0.04 | 12.10 | 9 | 113.40 | 53.99 | 0.0033 | |
| 2.11.2013 | 9.34 | 3.19 | 60.40 | 1,732 | 39.33 | 27.80 | 0.0529 | |
| 7.11.2013 | 190.72 | 44.97 | 124.50 | 698 | 92.00 | 79.75 | 0.3612 | |
| 9.11.2013 | 181.74 | 44.33 | 157.40 | 1,717 | 71.66 | 27.95 | 0.2817 | El escurrimiento registrado incluye la precipitación del 10 |
| 26.11.2013 | 30.54 | 27.40 | 108.40 | 1,908 | 24.27 | 10.69 | 0.2528 | |
| 23.12.2013 | 105.28 | 51.63 | 224.50 | 2,349 | 34.00 | 21.04 | 0.2300 | El escurrimiento registrado incluye la precipitación del 24 |
| 27.12.2013 | 39.29 | 12.83 | 23.90 | 572 | 6.00 | 5.13 | 0.5367 | |
| 30.12.2013 | 21.58 | 6.98 | 30.00 | 280 | 36.54 | 20.49 | 0.2328 | |
| Mín. | 0.51 | 0.02 | 6.50 | 9.000 | 6.00 | 5.13 | 0.0017 | |
| Máx. | 502.60 | 51.63 | 224.50 | 2,349 | 142.80 | 113.76 | 0.54 | |
| Promedio | 64.19 | 12.29 | 59.73 | 648 | 72.29 | 47.59 | 0.14 | |
| Desv. est. | 100.36 | 16.15 | 52.52 | 597 | 39.99 | 29.20 | 0.14 | |
| Coef. de var. | 1.56 | 1.31 | 0.88 | 1 | 0.55 | 0.61 | 0.95 | |

5.3 Ejemplo de la calibración para un evento de lluvia

A continuación se describe la calibración para la tormenta del 13 de agosto de 2013 en la microcuenca 09.

Se tomó como función objetivo al gasto pico, el cual para esta lluvia se registró

en el minuto 96, con una magnitud de $0.099 \text{ m}^3/\text{s}$. La corrida inicial de calibración se realizó con los valores por default y con un valor de saturación inicial (SI) de 0.9, estimando un gasto pico de $0.00056 \text{ m}^3/\text{s}$; a pesar, de que se ajustaron los valores de Ks , G y n en esta etapa, el gasto simulado no se aproximó al valor observado. Para mejorar la simulación se incrementó el valor de SI a 0.92, el resultado fue un gasto pico de $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$, como se muestra en la Figura 24 con el nombre de "Sinicial".

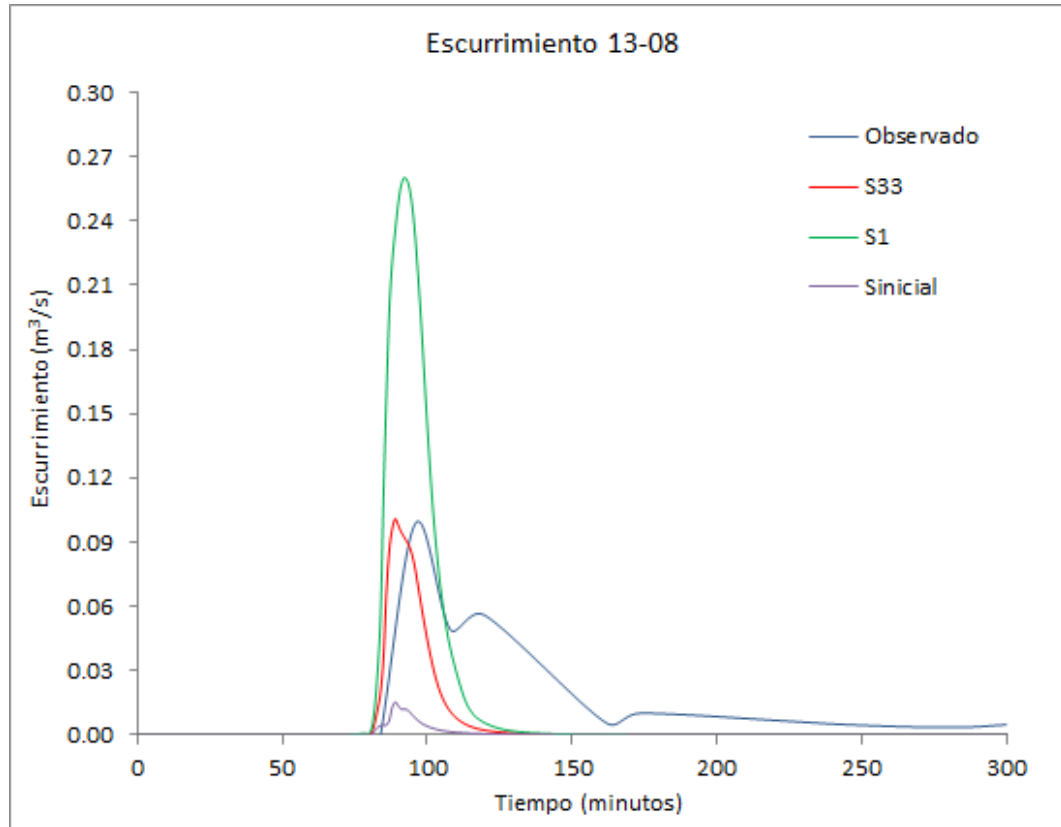


Figura 24: Proceso de mejora en la predicción del gasto simulado.

Cuadro 10: Primer grupo de multiplicadores de parámetros Ks y G en las laderas.

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S1* | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.260 | 162.86 |
| S2 | M2 | 52 | 0.92 | 596 | 4.06 | 0.25 | 0.001 | -99.49 |
| S3 | M3 | 91 | 1.63 | 472 | 3.21 | 0.25 | 0.000 | -100.00 |
| S4 | M4 | 131 | 2.34 | 349 | 2.37 | 0.25 | 0.000 | -100.00 |
| S5 | M5 | 170 | 3.04 | 225 | 1.53 | 0.25 | 0.000 | -100.00 |
| S6 | M6 | 210 | 3.75 | 101 | 0.69 | 0.25 | 0.000 | -100.00 |

En la segunda etapa de calibración se modificó el parámetro de Ks , variándolo de 12 como mínimo a 210 mm/h como máximo, mientras que a G se le asignó un valor máximo fue 720 y un mínimo de 101, manteniendo el coeficiente de rugosidad (n)

constante. Estos valores se eligieron para conservar límites físicos realistas, con base en la textura de suelo y los valores recomendados por Woolhiser *et al.* (1990). Con estos valores de Ks , G y de n , y utilizando los multiplicadores se estimó el Qp y las diferencias porcentuales obtenidas con cada combinación de parámetros. La mejor aproximación fue un gasto máximo simulado de $0.260 m^3/s$, que fue denominado Simulación S1 (Cuadro 10 y Figura 24).

En tercera etapa de calibración se consideraron los valores de Ks y de G , obtenidos de la simulación S1 y S2 de la segunda etapa de calibración (Cuadro 10), que fueron de 12 y 52 mm/h para Ks , y de 596 a 720 para G . Utilizando el segundo grupo de multiplicadores se obtuvieron los valores de escurrimiento máximo (Qp), con un máximo de 0.26 y una diferencia porcentual de 163%, con respecto al observado ($0.099 m^3/s$, Cuadro 11). En este caso no se le asignó una denominación, porque el Qp estimado resultó similar al obtenido en la segunda etapa de calibración.

Cuadro 11: Segundo grupo de multiplicadores de parámetros Ks y G en las laderas.

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S11* | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.260 | 163 |
| S12 | M2 | 20 | 0.36 | 695 | 4.73 | 0.25 | 0.013 | -87 |
| S13 | M3 | 28 | 0.50 | 670 | 4.56 | 0.25 | 0.004 | -96 |
| S14 | M4 | 36 | 0.64 | 646 | 4.39 | 0.25 | 0.002 | -98 |
| S15 | M5 | 44 | 0.78 | 621 | 4.22 | 0.25 | 0.001 | -99 |
| S16 | M6 | 52 | 0.92 | 596 | 4.05 | 0.25 | 0.001 | -99 |

En la cuarta etapa de calibración se consideraron los valores de la simulación S11 y S12, que fueron de 12 y 20 mm/h y de 720 y 695 para Ks y G (Cuadro 11), respectivamente. Utilizando un tercer grupo de multiplicadores en la simulación S23 se obtuvo un Qp de 0.109, con una diferencia porcentual del 10 %, con respecto al medido ($0.099 m^3/s$), que indica que se tiene la mínima diferencia porcentual en la estimación del escurrimiento máximo (Cuadro 12). Los valores para Ks y G son 15 y 710, respectivamente. Se observa que no es posible continuar aproximándose al valor de Ks ni de G , por lo que estos se consideraron fijos para la quinta etapa de calibración.

Cuadro 12: Tercer grupo de multiplicadores de parámetros Ks y G en las laderas.

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S21 | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.227 | 129 |
| S22 | M2 | 13 | 0.24 | 715 | 4.86 | 0.25 | 0.144 | 46 |
| S23* | M3 | 15 | 0.26 | 710 | 4.83 | 0.25 | 0.109 | 10 |
| S24 | M4 | 16 | 0.29 | 705 | 4.80 | 0.25 | 0.070 | -29 |
| S25 | M5 | 18 | 0.31 | 700 | 4.76 | 0.25 | 0.049 | -50 |
| S26 | M6 | 19 | 0.34 | 695 | 4.73 | 0.25 | 0.030 | -70 |

La quinta etapa de calibración consistió en tomar los valores fijos de SI , Ks y G , y variar el coeficiente de rugosidad de Manning en las laderas(n), de 0.20 a 0.30, estos

valores concuerdan con los propuestos en manual de usuario del modelo (Woolhiser *et al.*, 1990). Al ingresar estos parámetros al modelo y realizar las simulaciones, se encontró en la simulación S33 la mínima diferencia porcentual de 2% con un Q_p estimado de $0.101 \text{ m}^3/\text{s}$; que es similar al observado de $0.099 \text{ m}^3/\text{s}$ y con los valores de los parámetros de 0.92, 15, 710 y 0.28 para SI, Ks, G y n, respectivamente (Cuadro 13). El hidrograma obtenido en esta última etapa de calibración se denominó S33 y se presenta en la Figura 24.

Cuadro 13: Grupo de multiplicadores del parámetro n .

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | M | $Q_p (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|-----|---------------|----------------|
| S31 | M1 | 15 | 0.26 | 710 | 4.83 | 0.20 | 0.8 | 0.132 | 33 |
| S32 | M2 | 15 | 0.26 | 710 | 4.83 | 0.23 | 0.9 | 0.118 | 19 |
| S33* | M3 | 15 | 0.26 | 710 | 4.83 | 0.28 | 1.1 | 0.101 | 2 |
| S34 | M4 | 15 | 0.26 | 710 | 4.83 | 0.30 | 1.2 | 0.094 | -5 |

* Mejor aproximación 1

5.4 Comparación entre escurrimientos observados y simulados

Los hidrogramas y pluviógramas obtenidos del limnógrafo y del pluviógrafo, por eventos, fueron utilizados para compararlos con los hidrogramas simulados con el modelo KINEROS. Para el evento de lluvia del 13 de agosto del 2013, que se presentó en la Microcuenca 09, se analizó el pluviógrama y el hidrograma medido y se comparó con el hidrograma calibrado con el modelo KINEROS, el cual se asume como flujo hortoniano o superficial (Woolhiser *et al.*, 1990). La comparación indica que un importante volumen escurrido no es representado por el modelo, ya que existe un segundo gasto pico, posterior al máximo, que no corresponde con la intensidad de lluvia y que no simula el modelo; el cual que se asume como el efecto del flujo subsuperficial (Figura 25). Es importante señalar que la sustracción del flujo hortoniano al gasto medido, permitió asumir que el segundo gasto pico corresponde al flujo subsuperficial, explicado como una respuesta de la matriz de suelo.

En el resto de los eventos estudiados se encontró que el gasto pico medido se presentó después que el simulado por el modelo KINEROS, lo cual se explica porque la matriz del suelo permite que una porción importante de la precipitación infiltrada continúe su movimiento, a través capas saturadas del suelo, en dirección de la pendiente del terreno, para incorporarse aguas abajo a la red de drenaje en forma de flujo lateral. Este movimiento a través del suelo es más lento que el movimiento en la superficie y ocasiona un retraso del orden de minutos (Brooks *et al.*, 2003).

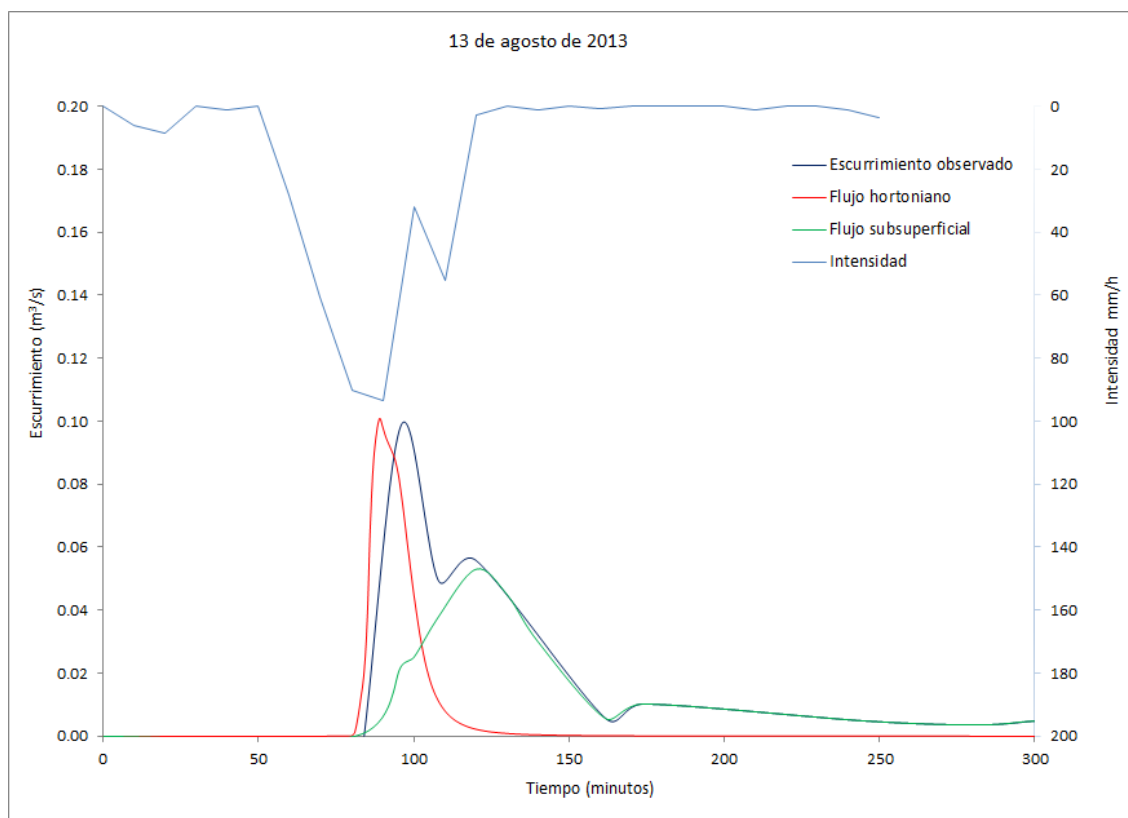


Figura 25: Separación del flujo hortoniano y subsuperficial.

5.5 Calibración del modelo KINEROS en la Microcuenca 09

Para la calibración del modelo se utilizaron los pluviógramas y los hidrogramas medidos de los eventos que se presentaron el 10 de julio y el 13, 14 y 17 de agosto de 2013, en la Microcuenca 09.

5.5.1 Calibración del modelo por eventos

El evento del 10 de julio tuvo un pluviógrama con duración de 200 minutos y una intensidad máxima de 60 mm/h, que se presentó a los 40 minutos, generando un gasto pico de $0.056 m^3/s$ y que se registró en el minuto 66 del evento. Para simular el evento se utilizó una Saturación Inicial de 0.925 y se generó un gasto pico de $0.009 m^3/s$, con base en esta aproximación se ajustaron los valores de los parámetros K_s , G y n y se utilizaron los multiplicadores, con el procedimiento de calibración previamente definido (anexo 1). El proceso de calibración de este evento resultó con los valores de los parámetros de K_s de $23 mm/h$, un G de 680 un $n = 0.23$,

y un gasto pico simulado ($0.058 \text{ m}^3/\text{s}$), ligeramente superior al observado con una diferencia porcentual del 4% (Figura 26). Destaca que para este evento el tiempo al pico muestra un pequeño retraso, en relación al observado ($0.056 \text{ m}^3/\text{s}$), situación que se explica por la duración de la intensidad máxima del evento.

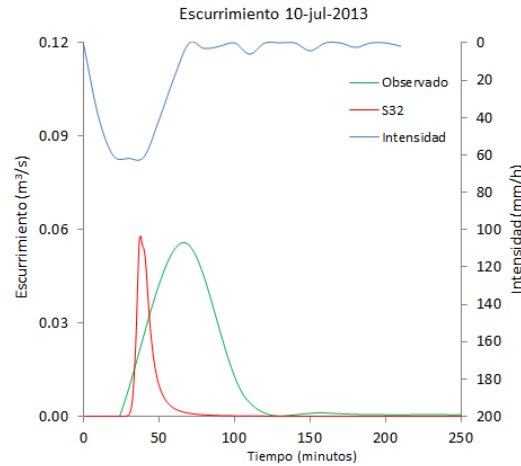


Figura 26: Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 10 de jul.

El evento del 14 de agosto registró una intensidad máxima de 70 mm/h , que se reportó a los 50 minutos del evento y generó un hidrograma con un gasto pico de $0.081 \text{ m}^3/\text{s}$. Para la calibración del gasto pico del hidrograma generado en este evento se utilizó una Saturación Inicial de 0.925 y se obtuvo un Ks de 14 mm/h , un G de 715 y un $n = 0.25$, con la metodología de calibración propuesta. Para este evento, el gasto pico simulado fue de $0.078 \text{ m}^3/\text{s}$, que es ligeramente inferior al observado ($0.081 \text{ m}^3/\text{s}$), con una diferencia porcentual del 4 % (Figura 27).

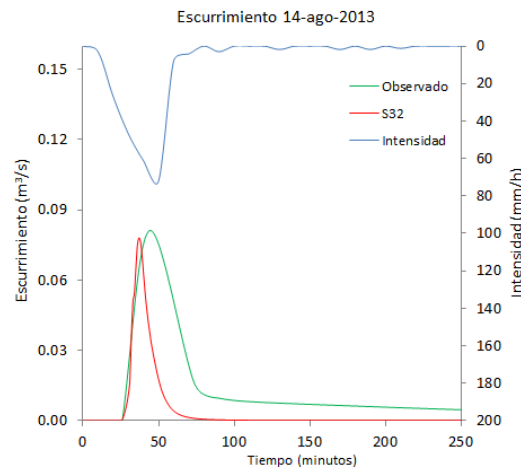


Figura 27: Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 14 de agosto
En evento del 17 de agosto tuvo una larga duración y se reportó una intensidad

de cerca de 100 mm/h en corto tiempo, lo que generó un hidrograma con un gasto pico de $0.058 \text{ m}^3/\text{s}$. En la primera etapa de calibración del modelo se utilizó una saturación inicial de 0.929, generando un gasto pico de $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$, que es inferior al observado; para mejorar la predicción se realizaron la etapas de calibración subsecuentes hasta encontrar los valores finales de los parámetros de $Ks = 48.8 \text{ mm/h}$, un G de 606, un $n = 0.25$ y un gasto pico simulado de $0.059 \text{ m}^3/\text{s}$ valor muy similar al observado con una diferencia porcentual del 2 % (Figura 28).

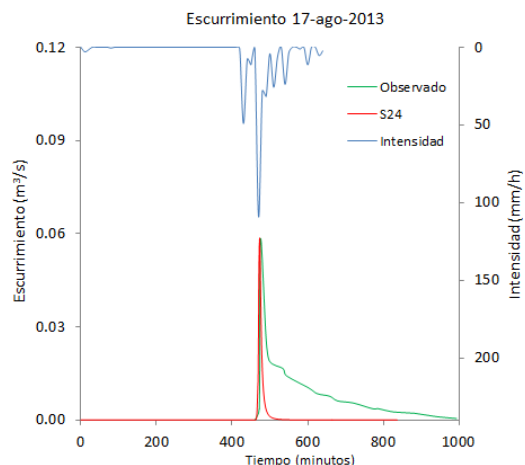


Figura 28: Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 17 de ago.

La comparación entre el gasto pico medido, el simulado y el grupo de parámetros obtenidos en la calibración, permitió observar la alta sensibilidad a los cambios en el parámetro SI, el cual, en todos los casos, resultó cercano a la saturación máxima del suelo $S_{MAX} = 0.93$ propuesta por Woolhiser *et al.* (1990). Destaca que el parámetro Ks , obtenido en el proceso de calibración de todos los eventos, fue menor que el medido en el estudio de suelos, situación que se explica porque el parámetro simulado por el modelo considera todo el perfil y el método de laboratorio utilizado, solo considera una muestra alterada de la capa superficial del suelo.

Para esta microcuenca el coeficiente de rugosidad (n) fue de 0.25, el cual coincide con los valores reportados por Woolhiser *et al.* (1990), y el modelo resultó poco sensible a los cambios en el parámetro G (Cuadro 14).

El proceso de calibración de los eventos de lluvia en esta microcuenca muestra que existe una variación entre los parámetros que utiliza el modelo, destacando que el SI tiene bajo coeficiente de variación (CV) y, sin embargo, cualquier variación en los valores utilizados impacta en forma significativa a los valores simulados. Los parámetros G y n tuvieron CV menores de 10 % y no influyen significativamente en el Q_{pico} simulado, no obstante, la conductividad hidráulica simulada tuvo un CV de 65 % en tan solo cuatro eventos lo cual explica la variabilidad espacial y temporal de este parámetro hidráulico en los suelos (Dingman, 2002).

Cuadro 14: Parámetros calibrados por eventos para la Microcuenca 09.

| Fecha | Duración (min) | Lluvia (mm) | Qp medido m^3/s | Qp Simulado m^3/s | SI | Ks mm/h | G | n | Diferencia % |
|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|------------------------|-------|------------|-------|------|-----------------|
| 10-jun-13 | 208 | 38.7 | 0.056 | 0.058 | 0.925 | 23.2 | 680 | 0.23 | -4% |
| 13-ago-13 | 247 | 64.3 | 0.099 | 0.101 | 0.920 | 14.8 | 710 | 0.28 | -2% |
| 14-ago-13 | 294 | 40.9 | 0.081 | 0.078 | 0.925 | 13.6 | 715 | 0.23 | 4% |
| 17-ago-13 | 637 | 54.9 | 0.058 | 0.059 | 0.929 | 48.8 | 606 | 0.25 | -1% |
| Media | | | | | 0.9 | 25.1 | 677.7 | 0.2 | |
| Desv. est. | | | | | 0.0 | 16.4 | 50.3 | 0.0 | |
| Coef. de var. | | | | | 0.4 | 65.2 | 7.4 | 9.8 | |

No fue posible calibrar, respecto al volumen escurrido, y en los cuatro eventos analizados el gasto medido se presentó después del simulado; esto indica la existencia de un componente importante de flujo lateral.

5.5.2 Calibración del modelo utilizando los parámetros simulados para la Microcuenca 09

Los valores de escurrimientos pico observados y simulados, utilizando el grupo de parámetros que tuvieron el mejor ajuste para cada evento, se evaluaron utilizando el índice de Nash - Sutcliffe (NSE), como sugieren (Goodrich *et al.*, 2012). Este índice es un estadístico normalizado que determina la magnitud relativa de la varianza residual (ruido) versus la varianza medida (información) (Nash y Sutcliffe, 1970). El NSE indica que tanto se ajusta la gráfica de observados versus simulados a la línea 1:1 y se calcula como indica la Ecuación 11.

$$NSE = 1 - \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i^{obs} - Y^{media})^2} \right\} \quad (11)$$

donde Y_i^{obs} es la i -ésima observación para el modelo evaluado, Y_i^{sim} es el i -ésimo valor simulado para el modelo evaluado, Y^{media} es la media de las observaciones que se evalúan y n es el número total de observaciones.

El índice de NSE varía entre $-\infty$ y 1.0 (incluye 1), un $NSE = 1$ se considera el valor óptimo. Generalmente valores de NSE entre 0.0 y 1.0 se consideran niveles aceptables de desempeño del modelo y valores ≤ 0.0 indican que la media de los valores observados es un mejor predictor que los valores simulados.

Con los parámetros seleccionados para cada evento se corrió el modelo KINEROS, para simular los Qpico de los cuatro eventos y resultó que el índice fue negativo e insuficiente para su predicción; situación similar sucedió con los parámetros obtenidos en los Eventos 2, 3 y 4, lo cual indica que el mejor estimador es la media de los parámetros (Cuadro 15).

Cuadro 15: Evaluación de parámetros mediante NSE.

| Parámetros | Ks (mm/h) | G Adimensional | n Adimensional | NSE | Condición |
|------------|--------------|-------------------|-------------------|--------|--------------|
| Evento 1 | 23.2 | 680 | 0.23 | -191.2 | Insuficiente |
| Evento 2 | 14.8 | 710 | 0.28 | -358.6 | Insuficiente |
| Evento 3 | 13.6 | 715 | 0.23 | -495.8 | Insuficiente |
| Evento 4 | 48.8 | 606 | 0.25 | -9.3 | Insuficiente |

5.6 Calibración del modelo KINEROS en la Microcuenca 02

Para calibrar el modelo en la Microcuenca 02 se seleccionaron tres eventos de lluvia y escurrimientos de los días 2 y 3 de noviembre, y 12 de diciembre de 2013.

5.6.1 Calibración del modelo por eventos

El evento de lluvia que se presentó el 2 de noviembre tuvo una larga duración y un corto periodo de tiempo con intensidades de 50 mm/h, lo que generó un gasto pico de $0.058 \text{ m}^3/\text{s}$ y uno posterior de $0.03 \text{ m}^3/\text{s}$. Para el proceso de calibración, se utilizó un valor de Saturación Inicial de 0.929, que generó un gasto pico de $0.0002 \text{ m}^3/\text{s}$, inferior al observado. Para mejorar el nivel de predicción se utilizó el método de calibración con multiplicadores, encontrando los parámetros de $Ks = 34.2 \text{ mm/h}$, $G = 650$ $n = 0.22$ y un gasto pico simulado de $0.057 \text{ m}^3/\text{s}$, con una diferencia porcentual del 2 % (Figura 29).

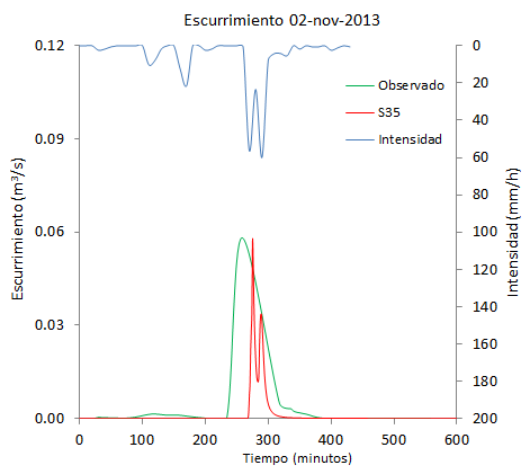


Figura 29: Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 02 de nov.

Destaca que el hidrograma observado no muestra inflexiones de gastos, contrario al hidrograma simulado con el modelo KINEROS; lo que indica que los gastos predichos por el modelo no se ajustan a los valores observados, razón por la cual este modelo no permite obtener los volúmenes escurridos por evento. Esta situación se explica por la presencia de flujo subsuperficial.

El evento que se presentó el día 3 de noviembre muestra dos picos de intensidades máximas de más de 50 mm/h, situación que se refleja en la forma del hidrograma observado y que no coincide con el hidrograma simulado (S32), en cuanto a la forma, pero si en el escurrimiento máximo, a pesar de estar desplazado en el tiempo. La magnitud del evento observado fue de $0.18 \text{ m}^3/\text{s}$, que es comparable con el Q_p simulado de $0.174 \text{ m}^3/\text{s}$, que fue generado utilizando los multiplicadores señalados en

el proceso de calibración, con parámetros de Saturación Inicial de 0.929, $Ks = 51.6 \text{ mm/h}$, $G = 596$ y $n = 0.2$ (Figura 30). La comparación de los valores observados y predichos tiene una diferencia porcentual de 4 %; sin embargo, existen diferencias en el tiempo al pico, entre simulado y observado.

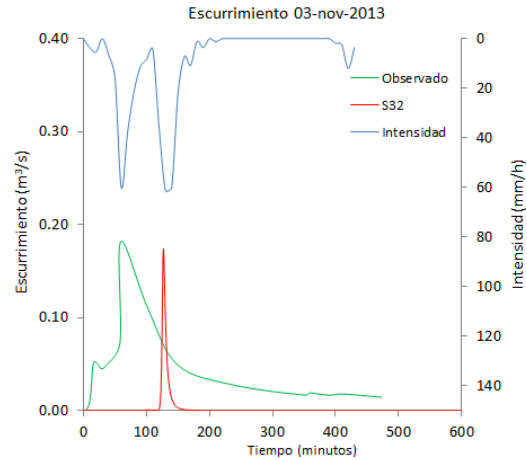


Figura 30: Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 03 de nov.

El último evento analizado en esta microcuenca tuvo una larga duración, con más de 28 horas y con intensidades variables que fluctúan de menos de 10 hasta más de 40 mm/h; lo que se refleja en la forma del hidrograma observado, con un escurrimiento máximo de $0.152 \text{ m}^3/\text{s}$. Al calibrar el modelo se encontró que los parámetros que minimizaron las diferencias porcentuales (-19 %), entre el escurrimiento pico simulado ($0.182 \text{ m}^3/\text{s}$) y el observado ($0.152 \text{ m}^3/\text{s}$), fueron $SI = 0.929$, $Ks = 29.4 \text{ mm/h}$, $G = 665$ y $n = 0.26$ (Figura 31).

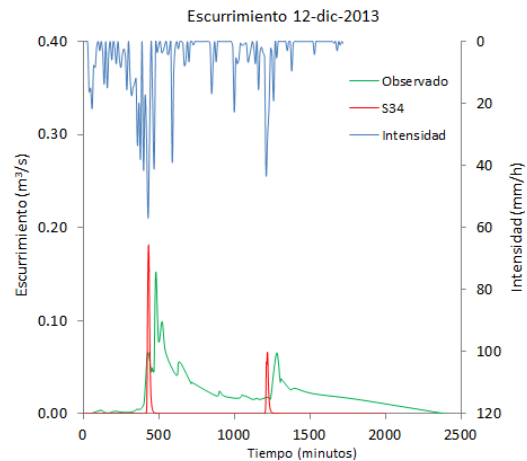


Figura 31: Hidrogramas observados y simulados para la lluvia del 12 de dic. Es importante señalar que el modelo KINEROS no simula los escurrimientos en

el tiempo, y solo muestra dos gastos pico, similares a los observados, que corresponden con las intensidades máximas de la lluvia presentada en el evento. Esta situación confirma que para lluvias de larga duración y baja intensidad, menores a la conductividad hidráulica de los suelos, se genera un proceso de infiltración del agua en el suelo, que posteriormente se convierte en un flujo subsuperficial y que aflora como flujo lateral en los cauces.

La información de lluvia, duración, escurrimientos pico medidos y simulados, con el grupo de parámetros seleccionados en la calibración, y las diferencias porcentuales de los tres eventos calibrados en la Microcuenca 02 se muestran en el Cuadro 16. La calibración del modelo mostró que el parámetro más sensible es la saturación inicial, el cual, en todos los eventos, fue cercano a la saturación máxima permitida $SMAX = 0.93$, el parámetro Ks tuvo el CV más alto (mayor de 30 %) que cual refleja su variabilidad espacial y temporal, como han señalado otros autores (Smith *et al.* (2002), Dingman (2002)) y los parámetros de n y G tuvieron un CV menor de 10 %, lo que indica que el parámetro más sensible en el proceso de simulación es la conductividad hidráulica de los suelos.

Cuadro 16: Parámetros calibrados por eventos para la Microcuenca 02

| Fecha | Duración (min) | Lluvia (mm) | Qp medido m^3/s | Qp Simulado m^3/s | SI | Ks mm/h | G | n | Diferencia % |
|----------------------|-------------------|----------------|----------------------|------------------------|-------|------------|-------|------|-----------------|
| 02-nov-13 | 430 | 38.7 | 0.058 | 0.057 | 0.929 | 34.2 | 650 | 0.22 | 2% |
| 03-nov-13 | 443 | 66.7 | 0.182 | 0.174 | 0.929 | 51.6 | 596 | 0.20 | 4% |
| 12-dic-13 | 1798 | 156.6 | 0.152 | 0.182 | 0.929 | 29.4 | 665 | 0.18 | -19% |
| Media | | | | | 0.9 | 38.4 | 637.0 | 0.2 | |
| Desv. est. | | | | | 0.0 | 11.7 | 36.3 | 0.0 | |
| Coef. de var. | | | | | 0.0 | 30.4 | 5.7 | 10.0 | |

Con el modelo KINEROS no fue posible calibrar los hidrogramas y el volumen total escurrido por eventos; solo se pudo simular el Qpico, ya que el flujo subsuperficial, que se presenta en las zonas tropicales con suelos profundos y de alta capacidad de infiltración, no se considera en el modelo, el cual se desarrolló para eventos independientes en zonas áridas. En dos eventos el gasto simulado se presentó después del medido, lo cual es opuesto con el comportamiento ocasionado por el flujo lateral en la Microcuenca 09, al analizar la forma de los eventos se observa que los pluviogramas son similares a los de la Microcuenca 09 y se concluye que las diferencias del tiempo al pico simulado y observado se deben a errores en la sincronización de los relojes del pluviógrafo y el limnígrafo.

5.6.2 Calibración del modelo utilizando los parámetros simulados para la Microcuenca 02

El modelo KINEROS se corrió utilizando los parámetros seleccionados para cada evento y se obtuvieron los Q_{pico} simulados que, al compáralos con los estimados y utilizando el NSE, se encontró que la predicción fue insuficiente, por lo que se considera que la media de los parámetros estimados es el mejor estimador para minimizar los errores de predicción (Cuadro 15).

Cuadro 17: Evaluación de parámetros mediante NSE.

| Parámetros | K_s (mm/h) | G Adimensional | n Adimensional | NSE | Condición |
|------------|-----------------|---------------------|---------------------|-------|--------------|
| Evento 1 | 34.2 | 650 | 0.22 | -5.8 | Insuficiente |
| Evento 2 | 51.6 | 596 | 0.20 | -2.0 | Insuficiente |
| Evento 3 | 29.4 | 665 | 0.18 | -14.4 | Insuficiente |

En general, el ajuste del modelo KINEROS para eventos de lluvia en el trópico húmedo, de acuerdo con el índice de NSE, es insuficiente para predecir los hidrogramas y el escurrimiento pico, razón por la cual se debe buscar otro tipo de modelos que permitan simular los hidrogramas considerando el flujo base y el flujo lateral.

6 Conclusiones y recomendaciones

Las relaciones precipitación – escurrimiento, en las microcuencas analizadas, reportaron coeficientes de escurrimientos medios de 0.12 y 0.14, con coeficientes de variación de más de 95 %, a pesar de tener un ajuste satisfactorio a un modelo potencial (R^2 mayor de 0.67), tiene un uso poco confiable en la predicción, ya que la condición de humedad antecedente para cada evento es variable.

El flujo base es un componente importante del balance anual de agua en ambas microcuencas y representa el volumen de agua que contribuye a la recarga y renovación de acuíferos en las zonas tropicales.

El flujo hortoniano no representa el volumen medido en todos los eventos, ya que existe la presencia del flujo lateral, el cual se explica porque el gasto pico medido se retrasó, en comparación con el simulado por KINEROS en cinco de los siete eventos analizados.

El modelo KINEROS se puede calibrar por evento, tomando como función objetivo al gasto pico, mediante el ajuste con multiplicadores de los parámetros SI , Ks , G , y n . Sin embargo, para las microcuencas en estudio, estos parámetros no permitieron ajustar el volumen escurrido en cada evento.

En la zona de estudio la asignación del valor para el parámetro de saturación inicial SI es incierto y puede ocasionar que se sobreestime o subestime el escurrimiento en más del 100 %, principalmente porque el modelo KINEROS, en estas zonas, se enfrenta con el reto de simular lluvias con saturación inicial cercana a la saturación máxima.

No se encontró un grupo de parámetros capaz de estimar, en forma “suficiente”, el gasto pico para los eventos estudiados, ya que el índice de Nash y Sutcliffe fue menor de 0, por lo cual se consideró al promedio de los parámetros calibrados en cada microcuenca como el mejor estimador.

El modelo en ambas microcuencas resultó poco sensible a cambios en el parámetro G y en todos los eventos los valores de SI fueron cercanos a la saturación inicial máxima. El parámetro más sensible fue Ks . En la zona de estudio los suelos son profundos y con un importante componente de flujo subsuperficial, por lo cual se debe considerar que el uso de KINEROS en estas zonas ocasiona valores poco precisos de producción de escurrimientos.

Para futuros esfuerzos de monitoreo en cuencas y microcuencas de zonas similares se recomienda medir la humedad en el suelo y los niveles de la zona de saturación “watertable” en cada evento de lluvia y escurrimiento.

7 Anexos

7.1 Anexo 1. Multiplicadores de calibración para las tormentas

7.1.1 Multiplicadores para tormentas de la Microcuenca 09

Cuadro 18: Grupo 1 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013.

$$Q_{medido} = 0.056 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S1* | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.405 | 622 |
| S2 | M2 | 52 | 0.92 | 596 | 4.06 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S3 | M3 | 91 | 1.63 | 472 | 3.21 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S4 | M4 | 131 | 2.34 | 349 | 2.37 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S5 | M5 | 170 | 3.04 | 225 | 1.53 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S6 | M6 | 210 | 3.75 | 101 | 0.69 | 0.25 | 0.000 | -100 |

Cuadro 19: Grupo 2 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013.

$$Q_{medido} = 0.056 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S11 | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.405 | 623 |
| S12* | M2 | 20 | 0.36 | 695 | 4.73 | 0.25 | 0.068 | 21 |
| S13 | M3 | 28 | 0.50 | 670 | 4.56 | 0.25 | 0.005 | -91 |
| S14 | M4 | 36 | 0.64 | 646 | 4.39 | 0.25 | 0.002 | -96 |
| S15 | M5 | 44 | 0.78 | 621 | 4.22 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S16 | M6 | 52 | 0.92 | 596 | 4.05 | 0.25 | 0.000 | -100 |

Cuadro 20: Grupo 3 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013.

$$Q_{medido} = 0.056 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S21 | M1 | 20 | 0.36 | 670 | 4.56 | 0.25 | 0.129 | 130 |
| S22 | M2 | 22 | 0.39 | 675 | 4.59 | 0.25 | 0.084 | 50 |
| S23* | M3 | 23 | 0.41 | 680 | 4.63 | 0.25 | 0.053 | -5 |
| S24 | M4 | 25 | 0.44 | 685 | 4.66 | 0.25 | 0.012 | -79 |
| S25 | M5 | 26 | 0.47 | 690 | 4.69 | 0.25 | 0.008 | -86 |
| S26 | M6 | 28 | 0.50 | 695 | 4.73 | 0.25 | 0.005 | -91 |

Cuadro 21: Grupo 4 de multiplicadores para el 10 de julio de 2013.

$$Q_{medido} = 0.056 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | M | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|-----|--------------|----------------|
| S31 | M1 | 23 | 0.41 | 680 | 4.63 | 0.20 | 0.8 | 0.064 | 14 |
| S32* | M2 | 23 | 0.41 | 680 | 4.63 | 0.23 | 0.9 | 0.058 | 4 |
| S33 | M3 | 23 | 0.41 | 680 | 4.63 | 0.28 | 1.1 | 0.049 | -13 |
| S34 | M4 | 23 | 0.41 | 680 | 4.63 | 0.30 | 1.2 | 0.046 | -18 |

Cuadro 22: Grupo 1 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013.

$$Q_{medido} = 0.081 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S1* | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.175 | 116 |
| S2 | M2 | 52 | 0.92 | 596 | 4.06 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S3 | M3 | 91 | 1.63 | 472 | 3.21 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S4 | M4 | 131 | 2.34 | 349 | 2.37 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S5 | M5 | 170 | 3.04 | 225 | 1.53 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S6 | M6 | 210 | 3.75 | 101 | 0.69 | 0.25 | 0.000 | -100 |

Cuadro 23: Grupo 2 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013.

$$Q_{medido} = 0.081 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S11* | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.175 | 116 |
| S12 | M2 | 20 | 0.36 | 695 | 4.73 | 0.25 | 0.004 | -95 |
| S13 | M3 | 28 | 0.50 | 670 | 4.56 | 0.25 | 0.001 | -99 |
| S14 | M4 | 36 | 0.64 | 646 | 4.39 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S15 | M5 | 44 | 0.78 | 621 | 4.22 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S16 | M6 | 52 | 0.92 | 596 | 4.05 | 0.25 | 0.000 | -100 |

Cuadro 24: Grupo 3 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013.

$$Q_{medido} = 0.081 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S21 | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.148 | 83 |
| S22* | M2 | 14 | 0.24 | 715 | 4.86 | 0.25 | 0.071 | -12 |
| S23 | M3 | 15 | 0.27 | 710 | 4.83 | 0.25 | 0.025 | -69 |
| S24 | M4 | 17 | 0.30 | 705 | 4.80 | 0.25 | 0.012 | -85 |
| S25 | M5 | 18 | 0.33 | 700 | 4.76 | 0.25 | 0.010 | -88 |
| S26 | M6 | 20 | 0.36 | 695 | 4.73 | 0.25 | 0.007 | -91 |

Cuadro 25: Grupo 4 de multiplicadores para el 14 de agosto de 2013.

$$Q_{medido} = 0.081 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | M | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|-----|--------------|----------------|
| S31 | M1 | 14 | 0.24 | 715 | 4.86 | 0.20 | 0.8 | 0.092 | 14 |
| S32* | M2 | 14 | 0.24 | 715 | 4.86 | 0.23 | 0.9 | 0.078 | -4 |
| S33 | M3 | 14 | 0.24 | 715 | 4.86 | 0.28 | 1.1 | 0.065 | -20 |
| S34 | M4 | 14 | 0.24 | 715 | 4.86 | 0.30 | 1.2 | 0.056 | -31 |

Cuadro 26: Grupo 1 de multiplicadores para el 17 de agosto de 2013.

$$Q_{medido} = 0.058 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S1* | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.812 | 1300 |
| S2 | M2 | 52 | 0.92 | 596 | 4.06 | 0.25 | 0.047 | -20 |
| S3 | M3 | 91 | 1.63 | 472 | 3.21 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S4 | M4 | 131 | 2.34 | 349 | 2.37 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S5 | M5 | 170 | 3.04 | 225 | 1.53 | 0.25 | 0.000 | -100 |
| S6 | M6 | 210 | 3.75 | 101 | 0.69 | 0.25 | 0.000 | -100 |

Cuadro 27: Grupo 2 de multiplicadores para el 17 de agosto de 2013.

$$Q_{medido} = 0.058 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S11 | M1 | 12 | 0.21 | 720 | 4.90 | 0.25 | 0.812 | 1300 |
| S12 | M2 | 20 | 0.36 | 695 | 4.73 | 0.25 | 0.511 | 781 |
| S13 | M3 | 28 | 0.50 | 670 | 4.56 | 0.25 | 0.359 | 519 |
| S14 | M4 | 36 | 0.64 | 646 | 4.39 | 0.25 | 0.234 | 304 |
| S15* | M5 | 44 | 0.78 | 621 | 4.22 | 0.25 | 0.078 | 35 |
| S16 | M6 | 52 | 0.92 | 596 | 4.05 | 0.25 | 0.047 | -20 |

Cuadro 28: Grupo 3 de multiplicadores para el 17 de agosto de 2013.

$$Q_{medido} = 0.058 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|--------|------|------|--------------|----------------|
| S21 | M1 | 44 | 0.79 | 620.8 | 4.22 | 0.25 | 0.084 | 44 |
| S22 | M2 | 46 | 0.81 | 615.84 | 4.19 | 0.25 | 0.072 | 24 |
| S23 | M3 | 47 | 0.84 | 610.88 | 4.16 | 0.25 | 0.059 | 2 |
| S24* | M4 | 49 | 0.87 | 605.92 | 4.12 | 0.25 | 0.059 | 1 |
| S25 | M5 | 50 | 0.90 | 600.96 | 4.09 | 0.25 | 0.047 | -19 |
| S26 | M6 | 52 | 0.93 | 596 | 4.05 | 0.25 | 0.037 | -36 |

7.1.2 Multiplicadores para tormentas de la Microcuenca 02

Cuadro 29: Grupo 1 de multiplicadores para el 02 de nov. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.058 \text{ m}^3/\text{s}$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S1* | M1 | 12 | 0.13 | 720 | 4.90 | 0.22 | 0.735 | 1168 |
| S2 | M2 | 52 | 0.55 | 596 | 4.06 | 0.22 | 0.017 | -71 |
| S3 | M3 | 91 | 0.97 | 472 | 3.21 | 0.22 | 0.001 | -98 |
| S4 | M4 | 131 | 1.39 | 349 | 2.37 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S5 | M5 | 170 | 1.81 | 225 | 1.53 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S6 | M6 | 210 | 2.23 | 101 | 0.69 | 0.22 | 0.000 | -100 |

Cuadro 30: Grupo 2 de multiplicadores para el 02 de nov. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.058 \text{ m}^3/\text{s}$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S11 | M1 | 12 | 0.13 | 720 | 4.90 | 0.22 | 0.730 | 1159 |
| S12 | M2 | 20 | 0.21 | 695 | 4.73 | 0.22 | 0.440 | 659 |
| S13* | M3 | 28 | 0.30 | 670 | 4.56 | 0.22 | 0.110 | 90 |
| S14 | M4 | 36 | 0.38 | 646 | 4.39 | 0.22 | 0.040 | -31 |
| S15 | M5 | 44 | 0.46 | 621 | 4.22 | 0.22 | 0.017 | -71 |
| S16 | M6 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.22 | 0.017 | -71 |

Cuadro 31: Grupo 3 de multiplicadores para el 02 de nov. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.058 \text{ m}^3/\text{s}$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S21 | M1 | 28 | 0.30 | 670 | 4.56 | 0.22 | 0.121 | 108 |
| S22 | M2 | 29 | 0.31 | 665 | 4.52 | 0.22 | 0.104 | 78 |
| S23 | M3 | 31 | 0.33 | 660 | 4.49 | 0.22 | 0.072 | 24 |
| S24 | M4 | 33 | 0.35 | 655 | 4.46 | 0.22 | 0.062 | 6 |
| S25* | M5 | 34 | 0.36 | 650 | 4.42 | 0.22 | 0.057 | -1 |
| S26 | M6 | 36 | 0.38 | 645 | 4.39 | 0.22 | 0.045 | -22 |

Cuadro 32: Grupo 1 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.18 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S1 | M1 | 12 | 0.13 | 720 | 4.90 | 0.22 | 1.030 | 472 |
| S2* | M2 | 52 | 0.55 | 596 | 4.06 | 0.22 | 0.211 | 17 |
| S3 | M3 | 91 | 0.97 | 472 | 3.21 | 0.22 | 0.001 | -99 |
| S4 | M4 | 131 | 1.39 | 349 | 2.37 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S5 | M5 | 170 | 1.81 | 225 | 1.53 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S6 | M6 | 210 | 2.23 | 101 | 0.69 | 0.22 | 0.000 | -100 |

Cuadro 33: Grupo 2 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.18 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S11* | M1 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.22 | 0.211 | 17 |
| S12 | M2 | 60 | 0.63 | 571 | 3.89 | 0.22 | 0.107 | -41 |
| S13 | M3 | 67 | 0.72 | 546 | 3.72 | 0.22 | 0.039 | -78 |
| S14 | M4 | 75 | 0.80 | 522 | 3.55 | 0.22 | 0.011 | -94 |
| S15 | M5 | 83 | 0.89 | 497 | 3.38 | 0.22 | 0.001 | -99 |
| S16 | M6 | 91 | 0.97 | 472 | 3.21 | 0.22 | 0.000 | -100 |

Cuadro 34: Grupo 3 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.18 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S21* | M1 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.22 | 0.155 | -14 |
| S22 | M2 | 53 | 0.57 | 591 | 4.02 | 0.22 | 0.135 | -25 |
| S23 | M3 | 55 | 0.58 | 586 | 3.99 | 0.22 | 0.124 | -31 |
| S24 | M4 | 56 | 0.60 | 581 | 3.95 | 0.22 | 0.104 | -42 |
| S25 | M5 | 58 | 0.62 | 576 | 3.92 | 0.22 | 0.087 | -51 |
| S26 | M6 | 60 | 0.63 | 571 | 3.88 | 0.22 | 0.081 | -55 |

Cuadro 35: Grupo 4 de multiplicadores para el 03 de nov. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.18 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | M | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|-----|--------------|----------------|
| S31 | M1 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.18 | 0.8 | 0.193 | 7 |
| S32* | M2 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.20 | 0.9 | 0.174 | -3 |
| S33 | M3 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.24 | 1.1 | 0.139 | -23 |
| S34 | M4 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.26 | 1.2 | 0.125 | -31 |

Cuadro 36: Grupo 1 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.152 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S1* | M1 | 12 | 0.13 | 720 | 4.90 | 0.22 | 0.646 | 325 |
| S2 | M2 | 52 | 0.55 | 596 | 4.06 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S3 | M3 | 91 | 0.97 | 472 | 3.21 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S4 | M4 | 131 | 1.39 | 349 | 2.37 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S5 | M5 | 170 | 1.81 | 225 | 1.53 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S6 | M6 | 210 | 2.23 | 101 | 0.69 | 0.22 | 0.000 | -100 |

Cuadro 37: Grupo 2 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.152 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S11 | M1 | 12 | 0.13 | 720 | 4.90 | 0.22 | 0.646 | 325 |
| S12 | M2 | 20 | 0.21 | 695 | 4.73 | 0.22 | 0.444 | 192 |
| S13* | M3 | 28 | 0.30 | 670 | 4.56 | 0.22 | 0.218 | 43 |
| S14 | M4 | 36 | 0.38 | 646 | 4.39 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S15 | M5 | 44 | 0.46 | 621 | 4.22 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S16 | M6 | 52 | 0.55 | 596 | 4.05 | 0.22 | 0.000 | -100 |

Cuadro 38: Grupo 3 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.152 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|--------------|----------------|
| S21 | M1 | 28 | 0.30 | 670 | 4.56 | 0.22 | 0.218 | 43 |
| S22* | M2 | 29 | 0.31 | 665 | 4.52 | 0.22 | 0.200 | 32 |
| S23 | M3 | 31 | 0.33 | 660 | 4.49 | 0.22 | 0.077 | -50 |
| S24 | M4 | 33 | 0.35 | 655 | 4.46 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S25 | M5 | 34 | 0.36 | 650 | 4.42 | 0.22 | 0.000 | -100 |
| S26 | M6 | 36 | 0.38 | 645 | 4.39 | 0.22 | 0.000 | -100 |

Cuadro 39: Grupo 4 de multiplicadores para el 12 de dic. de 2013.

$$Q_{medido} = 0.152 \text{ m}^3/s$$

| Simulación | M | $Ks(mm/h)$ | M | G | M | n | M | $Qp (m^3/s)$ | Diferencia (%) |
|------------|----|------------|------|-----|------|------|-----|--------------|----------------|
| S31 | M1 | 29 | 0.31 | 665 | 4.52 | 0.18 | 0.8 | 0.221 | 46 |
| S32 | M2 | 29 | 0.31 | 665 | 4.52 | 0.20 | 0.9 | 0.211 | 39 |
| S33 | M3 | 29 | 0.31 | 665 | 4.52 | 0.24 | 1.1 | 0.191 | 25 |
| S34* | M4 | 29 | 0.31 | 665 | 4.52 | 0.26 | 1.2 | 0.182 | 20 |

7.2 Anexo 2. Parámetros de KINEROS

7.2.1 Parámetros de KINEROS para la Microcuenca 02

```
BEGIN GLOBAL
CLEN = 10, UNITS = METRIC
DIAMS = 0.25, 0.033, 0.004 ! mm
DENSITY = 2.65, 2.65, 2.65 ! g/cc
TEMP = 33 ! deg C
NELE = 11
END GLOBAL
```

```
    BEGIN PLANE
ID = 31
LEN = 119.4, WID = 80
SL = 0.6, MAN = 0.215, X = 487544.2, Y = 1915730.1
CV = 1.9
Ks = 90.38, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 2.2, CANOPY = 0.307, PAVE = 0
END PLANE
```

```
    BEGIN PLANE
ID = 32,
LEN = 24.7, WID = 211.2
SL = 0.566, MAN = 0.508, X = 487414.2, Y = 1915821.1
CV = 1.9
Ks = 111.15, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 2.9, CANOPY = 0.504, PAVE = 0
END PLANE
```

```
    BEGIN PLANE
ID = 33
LEN = 62.4, WID = 211.2
SL = 0.605, MAN = 0.339, X = 487418, Y = 1915766.4
CV = 1.9
Ks = 95.97, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 2.25, CANOPY = 0.364, PAVE = 0
```

END PLANE

BEGIN CHANNEL ID = 34
LAT = 32 33
UP = 31
LEN = 211.19, SLOPE = 0.3148, X = 487389.134, Y = 1915814.207
WIDTH = 0.68, 1.01, DEPTH = 0.05, 0.07
MAN = 0.15, SS1 = 1, SS2 = 1
WOOL = Yes
CV = 0, Ks = 0, G = 101
DIST = 0.545, POR = 0.44, ROCK = 0
FR = 0.9, 0.05, 0.05, SP = 63, COH = 0.005
PAVE = 0
END CHANNEL

BEGIN PLANE
ID = 21
LEN = 121.3, WID = 79.6
SL = 0.557, MAN = 0.231, X = 487581.3, Y = 1915810.4
CV = 1.9
Ks = 91.39, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 2.24, CANOPY = 0.318, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 22
LEN = 61, WID = 199.8
SL = 0.449, MAN = 0.386, X = 487466.6, Y = 1915885.4
CV = 1.9
Ks = 101.37, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 2.56, CANOPY = 0.416, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 23
LEN = 32.9, WID = 199.8
SL = 0.518, MAN = 0.338, X = 487464.8, Y = 1915829.4
CV = 1.9

Ks = 97.86, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 2.43, CANOPY = 0.383, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN CHANNEL
ID = 24
LAT = 22 23
UP = 21
LEN = 199.83, SLOPE = 0.308, X = 487416.197, Y = 1915864.144
WIDTH = 0.68, 1.02, DEPTH = 0.05, 0.07
MAN = 0.15, SS1 = 1, SS2 = 1
WOOL = Yes
CV = 0, Ks = 0, G = 101
DIST = 0.545, POR = 0.44, ROCK = 0
FR = 0.9, 0.05, 0.05, SP = 63, COH = 0.005
PAVE = 0
END CHANNEL

BEGIN PLANE
ID = 12
LEN = 49.9, WID = 67.4
SL = 0.484, MAN = 0.295, X = 487350, Y = 1915914.2
CV = 1.9
Ks = 90.35, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 1.88, CANOPY = 0.307, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 13
LEN = 54.1, WID = 67.4
SL = 0.333, MAN = 0.245, X = 487304.2, Y = 1915862
CV = 1.9
Ks = 92.35, G = 147, DIST = 0.38, POR = 67, ROCK = 0.05
FR = 0.67, 0.2, 0.13, SPLASH = 108.03, COH = 0.006, SMAX = 0.93
INTER = 2.28, CANOPY = 0.328, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN CHANNEL

ID = 14
LAT = 12 13
UP = 24 34
LEN = 67.45, SLOPE = 0.1041, X = 487306.783, Y = 1915911.558
WIDTH = 1.32, 1.37, DEPTH = 0.09, 0.1
MAN = 0.15, SS1 = 1, SS2 = 1
WOOL = Yes
CV = 0, Ks = 0, G = 101
DIST = 0.545, POR = 0.44, ROCK = 0
FR = 0.9, 0.05, 0.05, SP = 63, COH = 0.005
PAVE = 0
END CHANNEL

7.2.2 Parámetros de KINEROS para la Microcuenca 09

BEGIN GLOBAL
CLEN = 10, UNITS = METRIC
DIAMS = 0.25, 0.033, 0.004 ! mm
DENSITY = 2.65, 2.65, 2.65 ! g/cc
TEMP = 33 ! deg C
NELE = 11
END GLOBAL

BEGIN PLANE
ID = 21, PRINT = 3
LEN = 100.3, WID = 82
SL = 0.389, MAN = 0.282, X = 474861.8, Y = 1932523.1
CV = 1.9
Ks = 56.59, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05
FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.36, CANOPY = 0.352, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 22, PRINT = 3
LEN = 14, WID = 106.5
SL = 0.336, MAN = 0.218, X = 474762.3, Y = 1932497.6
CV = 1.9
Ks = 54.09, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05

FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.21, CANOPY = 0.309, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 23, PRINT = 3
LEN = 53.6, WID = 106.5
SL = 0.339, MAN = 0.251, X = 474791.6, Y = 1932464.2
CV = 1.9
Ks = 55.38, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05
FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.29, CANOPY = 0.331, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN CHANNEL
ID = 24, PRINT = 3
LAT = 22 23
UP = 21
LEN = 106.48, SLOPE = 0.1828, X = 474753.813, Y = 1932483.141
WIDTH = 0.64, 0.81, DEPTH = 0.05, 0.06
MAN = 0.15, SS1 = 1, SS2 = 1
WOOL = Yes
CV = 0, Ks = 0, G = 101
DIST = 0.545, POR = 0.44, ROCK = 0
FR = 0.9, 0.05, 0.05, SP = 63, COH = 0.005
PAVE = 0
END CHANNEL

BEGIN PLANE
ID = 11, PRINT = 3
LEN = 68.5, WID = 126.6
SL = 0.352, MAN = 0.258, X = 474851.3, Y = 1932614.4
CV = 1.9
Ks = 55.64, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05
FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.31, CANOPY = 0.336, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 12, PRINT = 3

LEN = 43, WID = 179.9
SL = 0.443, MAN = 0.388, X = 474750, Y = 1932572.2
CV = 1.9
Ks = 60.99, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05
FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.62, CANOPY = 0.423, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 13, PRINT = 3
LEN = 32, WID = 179.9
SL = 0.299, MAN = 0.3, X = 474784.3, Y = 1932536.8
CV = 1.9
Ks = 57.3, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05
FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.41, CANOPY = 0.364, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN CHANNEL
ID = 14, PRINT = 3
LAT = 12 13
UP = 11
LEN = 179.92, SLOPE = 0.1608, X = 474746.474, Y = 1932535.759
WIDTH = 0.66, 0.93, DEPTH = 0.05, 0.07
MAN = 0.15, SS1 = 1, SS2 = 1
WOOL = Yes
CV = 0, Ks = 0, G = 101
DIST = 0.545, POR = 0.44, ROCK = 0
FR = 0.9, 0.05, 0.05, SP = 63, COH = 0.005
PAVE = 0
END CHANNEL

BEGIN PLANE
ID = 32, PRINT = 3
LEN = 24.3, WID = 100
SL = 0.374, MAN = 0.22, X = 474677.1, Y = 1932447.1
CV = 1.9
Ks = 54.18, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05
FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.22, CANOPY = 0.311, PAVE = 0

END PLANE

BEGIN PLANE
ID = 33, PRINT = 3
LEN = 136.6, WID = 100
SL = 0.291, MAN = 0.238, X = 474743.6, Y = 1932401.1
CV = 1.9
Ks = 54.87, G = 147, DIST = 0.38, POR = 64.4, ROCK = 0.05
FR = 0.59, 0.24, 0.17, SPLASH = 108.03, COH = 0.007, SMAX = 0.93
INTER = 2.26, CANOPY = 0.323, PAVE = 0
END PLANE

BEGIN CHANNEL
ID = 34, PRINT = 3
LAT = 32 33
UP = 14 24
LEN = 99.97, SLOPE = 0.0754, X = 474676.045, Y = 1932427.33
WIDTH = 1.13, 1.29, DEPTH = 0.08, 0.09
MAN = 0.15, SS1 = 1, SS2 = 1
WOOL = Yes
CV = 0, Ks = 0, G = 101
DIST = 0.545, POR = 0.44, ROCK = 0
FR = 0.9, 0.05, 0.05, SP = 63, COH = 0.005
PAVE = 0
END CHANNEL

7.3 Anexo 3. Perfiles de suelos

Cuadro 40: Características del suelo en el perfil número 1 de la Microcuenca 02.

| Horizonte | Arcillas (%) | Limos (%) | Arenas (%) | Clase textural | Prof. (cm) | ϕ_t (%) | K_{sat} (cm/h) | pH | M.O. (%) | CIC (Cmol/kg) | ρ_b (g/cm^3) |
|-----------|--------------|-----------|------------|----------------|------------|--------------|------------------|-----|----------|---------------|-----------------------|
| A1 | 14.0 | 22.0 | 64.0 | Franco arenoso | 0-20 | 67.1 | 10.4 | 5.0 | 3.9 | 12.9 | 0.9 |
| A2 | 6.0 | 12.0 | 82.0 | Arena francosa | 20-70 | 73.5 | 18.6 | 5.0 | 1.7 | 14.3 | 0.7 |
| C1 | 7.0 | 3.0 | 90.0 | Arena | 70-135 | 65.5 | 20.0 | 5.0 | 0.5 | 1.7 | 0.9 |
| C2 | 8.0 | 12.0 | 80.0 | Arena francosa | 135-160 | 63.0 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0 | 1.0 |

Nota: ϕ_t es la porosidad total, K_{sat} es la conductividad hidráulica saturada, ρ_b es la densidad aparente del horizonte, —* indica que no se midió.

Cuadro 41: Características del suelo en el perfil número 2 de la Microcuenca 02.

| Horizonte | Arcillas (%) | Limos (%) | Arenas (%) | Clase textural | Prof. (cm) | ϕ_t (%) | K_{sat} (cm/h) | pH | M.O. (%) | CIC (Cmol/kg) | ρ_b (g/cm^3) |
|-----------|--------------|-----------|------------|----------------|------------|--------------|------------------|-----|----------|---------------|-----------------------|
| A1 | 13.0 | 26.0 | 61.0 | Franco arenoso | 23-52 | 67.8 | 4.0 | 4.5 | 6.5 | 10.3 | 0.9 |
| A2 | 7.0 | 16.0 | 77.0 | Arena francosa | 52-94 | 67.8 | 11.9 | 5.0 | 3.6 | 9.7 | 0.9 |
| C1 | 9.0 | 9.0 | 82.0 | Arena francosa | 94-123 | 67.5 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0.0 | 0.9 |
| C2 | 14.0 | 20.0 | 66.0 | Franco arenoso | 123-158 | 61.1 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0 | 1.0 |
| C3 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0 | 0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 | 0.0 |

Nota: ϕ_t es la porosidad total, K_{sat} es la conductividad hidráulica saturada, ρ_b es la densidad aparente del horizonte, —* indica que no se midió.

Cuadro 42: Características del suelo en el perfil número 1 de la Microcuenca 09.

| Horizonte | Arcillas (%) | Limos (%) | Arenas (%) | Clase textural | Prof. (cm) | ϕ_t (%) | K_{sat} (cm/h) | pH | M.O. (%) | CIC (Cmol/kg) | ρ_b (g/cm^3) |
|-----------|--------------|-----------|------------|----------------|------------|--------------|------------------|-----|----------|---------------|-----------------------|
| A | 13.0 | 22.0 | 65.0 | Franco arenoso | 0-18 | 63.3 | 6.1 | 5.0 | 5.3 | 20.9 | 1.0 |
| Bw | 15.0 | 24.0 | 61.0 | Franco arenoso | 18-78 | 60.3 | —* | 5.5 | —* | —* | 1.1 |
| C1 | 18.0 | 28.0 | 54.0 | Franco arenoso | 78-120 | 57.6 | 3.3 | 5.5 | 0.3 | 17.6 | 1.1 |
| C2 | 24.0 | 46.0 | 30.0 | Franco | 120-148 | 60.6 | 0.0 | 5.5 | 0.0 | 0 | 1.0 |

Nota: ϕ_t es la porosidad total, K_{sat} es la conductividad hidráulica saturada, ρ_b es la densidad aparente del horizonte, —* indica que no se midió.

Cuadro 43: Características del suelo en el perfil número 2 de la Microcuenca 09.

| Horizonte | Arcillas (%) | Limos (%) | Arenas (%) | Clase textural | Prof. (cm) | ϕ_t (%) | K_{sat} (cm/h) | pH | M.O. (%) | CIC (Cmol/kg) | ρ_b (g/cm^3) |
|-----------|--------------|-----------|------------|------------------|------------|--------------|------------------|-----|----------|---------------|-----------------------|
| A1 | 20.0 | 25.0 | 55.0 | Franco arenoso | 0-12 | 65.4 | 5.0 | 4.5 | 5.7 | 10.6 | 0.9 |
| A2 | 26.0 | 27.0 | 47.0 | Franco | 12-54 | 64.0 | 4.6 | 5.0 | 2.5 | 21.6 | 1.0 |
| Bw | 30.0 | 34.0 | 36.0 | Franco arcilloso | 54-109 | 63.0 | 2.3 | 5.0 | 0.9 | 27.6 | 1.0 |
| C | 21.0 | 34.0 | 45.0 | Franco | 109-148 | 62.7 | 0.0 | 5.0 | 0.0 | 0 | 1.0 |

Nota: ϕ_t es la porosidad total, K_{sat} es la conductividad hidráulica saturada, ρ_b es la densidad aparente del horizonte, —* indica que no se midió.



Figura 32: Perfil 1 de la Microcuenca 02.

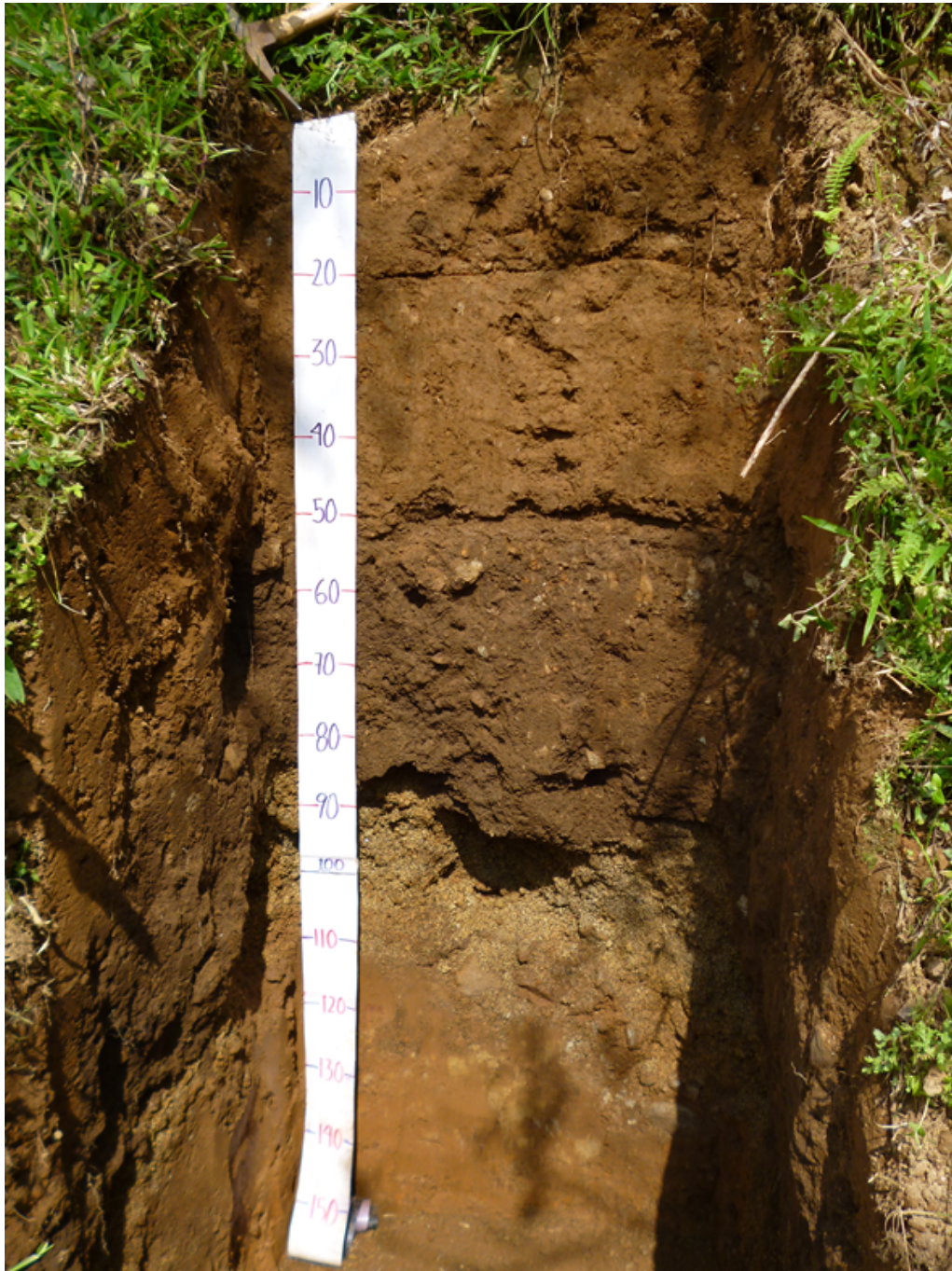


Figura 33: Perfil 2 de la Microcuenca 02.

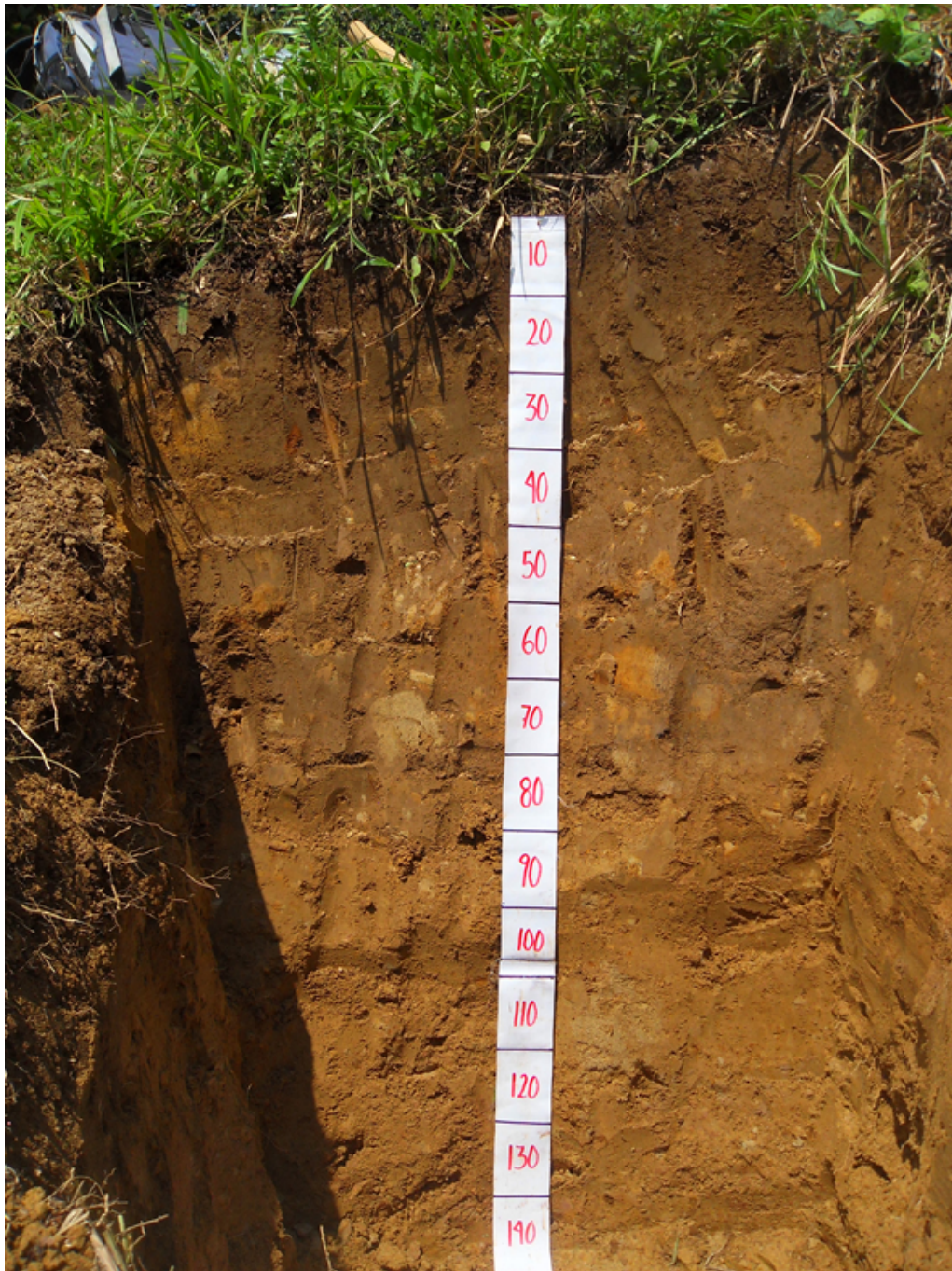


Figura 34: Perfil 1 de la Microcuenca 09.



Figura 35: Perfil 2 de la Microcuenca 09.

7.4 Anexo 4. Pluviógramas

7.4.1 Microcuenca 02

Cuadro 44: Pichucalco 02 Chapultenango enero 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 14 Ene 2013 | 7:53 | 24 | 0.70 | 5.60 | 2.78 | 5.60 | 3.47 | 2.52 | 2.01 | 1.68 | 1.40 | 0.12 | 0.14 |
| 14 Ene 2013 | 22:59 | 512 | 11.90 | 8.46 | 3.64 | 8.46 | 4.37 | 3.01 | 2.33 | 1.92 | 1.75 | 1.88 | 3.29 |
| 15 Ene 2013 | 21:19 | 1,311 | 63.80 | 46.80 | 35.07 | 46.80 | 41.40 | 36.33 | 32.16 | 28.66 | 25.10 | 13.28 | 333.27 |
| 20 Ene 2013 | 0:53 | 411 | 1.40 | 3.00 | 1.41 | 3.00 | 1.83 | 1.25 | 0.95 | 0.78 | 0.66 | 0.11 | 0.07 |
| 26 Ene 2013 | 8:53 | 1,357 | 14.70 | 3.06 | 2.09 | 3.06 | 2.34 | 2.08 | 1.86 | 1.70 | 1.48 | 1.84 | 2.73 |
| 27 Ene 2013 | 20:43 | 1,203 | 25.90 | 9.43 | 6.21 | 9.43 | 7.72 | 6.40 | 5.21 | 4.50 | 3.98 | 3.74 | 14.86 |
| 29 Ene 2013 | 3:48 | 1,726 | 54.50 | 7.14 | 5.51 | 7.14 | 5.78 | 5.33 | 5.10 | 4.92 | 4.80 | 8.93 | 58.93 |
| TOTAL | | | 172.90 | 46.80 | 8.10 | | | | | | | 29.90 | 413.29 |

Cuadro 45: Pichucalco 02 Chapultenango febrero 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 3-Feb-13 | 6:14 | 274 | 0.90 | 2.57 | 1.34 | 2.57 | 1.83 | 1.25 | 0.96 | 0.79 | 0.67 | 0.08 | 0.06 |
| TOTAL | | | 0.90 | 2.57 | 1.34 | | | | | | | 0.08 | 0.06 |

Cuadro 46: Pichucalco 02 Chapultenango abril 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 19 Abr 2013 | 17:02 | 661 | 77.90 | 42.00 | 26.05 | 42.00 | 28.60 | 24.13 | 21.90 | 20.36 | 19.33 | 17.08 | 330.01 |
| 21 Abr 2013 | 23:50 | 116 | 0.70 | 0.78 | 0.76 | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.78 | 0.75 | 0.69 | 0.06 | 0.04 |
| 25 Abr 2013 | 21:52 | 348 | 28.30 | 93.00 | 50.96 | 93.00 | 64.80 | 45.60 | 39.06 | 33.04 | 30.28 | 7.16 | 216.75 |
| 28 Abr 2013 | 14:40 | 26 | 2.30 | 10.80 | 6.82 | 10.80 | 8.02 | 6.56 | 5.58 | 5.36 | 4.60 | 0.43 | 1.82 |
| TOTAL | | | 109.20 | 93.00 | 21.15 | | | | | | | 24.73 | 548.62 |

Cuadro 47: Pichucalco 02 Chapultenango mayo 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 02 May 2013 | 4:23 | 53 | 34.30 | 71.00 | 64.94 | 71.00 | 65.73 | 63.09 | 63.60 | 64.88 | 61.33 | 9.28 | 568.88 |
| 03 May 2013 | 4:04 | 256 | 29.70 | 51.60 | 35.68 | 51.60 | 51.60 | 36.87 | 27.93 | 22.56 | 23.50 | 7.31 | 171.77 |
| 03 May 2013 | 23:13 | 807 | 11.70 | 2.65 | 1.51 | 2.65 | 1.64 | 1.30 | 1.14 | 1.14 | 1.20 | 1.44 | 1.73 |
| 13 May 2013 | 18:24 | 519 | 22.50 | 18.64 | 12.18 | 18.64 | 12.72 | 10.75 | 10.40 | 10.32 | 10.27 | 5.38 | 55.26 |
| 24 May 2013 | 18:30 | 69 | 3.70 | 30.24 | 14.72 | 30.24 | 19.85 | 13.32 | 10.05 | 8.09 | 6.79 | 0.84 | 5.73 |
| 25 May 2013 | 16:59 | 216 | 13.90 | 45.60 | 34.37 | 45.60 | 41.00 | 38.89 | 31.78 | 26.31 | 22.66 | 3.24 | 73.38 |
| TOTAL | | | 115.80 | 71.00 | 27.23 | | | | | | | 27.49 | 876.75 |

Cuadro 48: Pichucalco 02 Chapultenango junio 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1-Jun-13 | 15:27 | 574 | 60.80 | 106.00 | 81.22 | 106.00 | 89.04 | 80.56 | 77.40 | 70.75 | 63.56 | 14.71 | 935.10 |
| 2-Jun-13 | 13:47 | 719 | 61.80 | 84.00 | 63.95 | 84.00 | 76.20 | 61.80 | 52.80 | 57.36 | 51.55 | 14.82 | 764.22 |
| 3-Jun-13 | 12:21 | 614 | 83.60 | 51.60 | 44.63 | 51.60 | 48.30 | 47.20 | 43.76 | 39.99 | 36.95 | 19.85 | 733.28 |
| 4-Jun-13 | 13:38 | 511 | 72.60 | 106.00 | 94.09 | 106.00 | 99.94 | 95.40 | 91.42 | 88.80 | 82.96 | 18.45 | 1,530.31 |
| 5-Jun-13 | 14:26 | 640 | 52.50 | 78.86 | 67.99 | 78.86 | 76.20 | 74.13 | 65.97 | 59.65 | 53.11 | 13.12 | 696.75 |
| 7-Jun-13 | 13:55 | 229 | 13.90 | 14.40 | 11.69 | 14.40 | 13.20 | 12.18 | 10.98 | 10.26 | 9.11 | 2.69 | 24.47 |
| 8-Jun-13 | 1:19 | 101 | 5.10 | 9.43 | 7.49 | 9.43 | 9.30 | 7.60 | 6.45 | 6.36 | 5.80 | 0.89 | 5.15 |
| 8-Jun-13 | 16:10 | 35 | 8.80 | 45.20 | 27.45 | 45.20 | 32.76 | 26.40 | 22.80 | 20.08 | 17.43 | 2.10 | 36.55 |
| 9-Jun-13 | 0:14 | 111 | 8.80 | 17.23 | 12.72 | 17.23 | 13.97 | 12.89 | 12.00 | 10.72 | 9.49 | 1.66 | 15.77 |
| 9-Jun-13 | 13:23 | 133 | 12.40 | 13.97 | 11.23 | 10.80 | 10.20 | 13.97 | 11.88 | 10.62 | 9.91 | 2.43 | 24.07 |
| 12-Jun-13 | 18:50 | 59 | 5.50 | 42.00 | 20.50 | 42.00 | 27.00 | 18.43 | 14.15 | 11.58 | 9.86 | 1.27 | 12.57 |
| 13-Jun-13 | 18:43 | 61 | 15.80 | 35.76 | 29.87 | 35.76 | 34.08 | 31.36 | 27.57 | 25.08 | 25.36 | 3.78 | 95.89 |
| 16-Jun-13 | 17:44 | 38 | 6.20 | 25.92 | 18.98 | 25.92 | 22.80 | 21.20 | 17.18 | 14.49 | 12.27 | 1.40 | 17.21 |
| 18-Jun-13 | 0:00 | 1,503 | 40.30 | 26.94 | 21.38 | 26.94 | 23.56 | 20.67 | 19.50 | 19.10 | 18.49 | 8.36 | 154.52 |
| 19-Jun-13 | 13:24 | 450 | 13.00 | 27.36 | 13.53 | 27.36 | 16.08 | 12.05 | 9.22 | 8.74 | 7.70 | 2.62 | 20.16 |
| 20-Jun-13 | 16:07 | 172 | 22.70 | 42.00 | 36.22 | 42.00 | 42.00 | 36.91 | 34.36 | 31.92 | 30.10 | 5.21 | 156.97 |
| 21-Jun-13 | 15:50 | 490 | 15.00 | 23.14 | 13.70 | 23.14 | 17.78 | 13.60 | 10.70 | 8.96 | 8.00 | 2.73 | 21.86 |
| 22-Jun-13 | 18:24 | 113 | 3.10 | 15.20 | 7.64 | 15.20 | 9.09 | 6.83 | 5.70 | 4.81 | 4.22 | 0.54 | 2.30 |
| 23-Jun-13 | 17:28 | 32 | 5.20 | 23.25 | 15.99 | 23.25 | 20.31 | 16.40 | 13.80 | 11.92 | 10.27 | 1.13 | 11.63 |
| 25-Jun-13 | 17:04 | 12 | 2.20 | 22.50 | 10.08 | 22.50 | 12.90 | 8.80 | 6.60 | 5.28 | 4.40 | 0.51 | 2.14 |
| 26-Jun-13 | 20:04 | 54 | 0.70 | 5.14 | 2.40 | 5.14 | 3.00 | 2.09 | 1.64 | 1.36 | 1.18 | 0.10 | 0.12 |
| 29-Jun-13 | 17:28 | 432 | 66.00 | 148.20 | 120.93 | 148.20 | 126.60 | 126.40 | 118.01 | 110.16 | 96.23 | 16.93 | 1,629.24 |
| 30-Jun-13 | 13:25 | 603 | 73.30 | 78.00 | 60.30 | 78.00 | 70.20 | 59.30 | 50.58 | 53.16 | 50.55 | 17.94 | 906.78 |
| TOTAL | | | 649.30 | 148.20 | 34.52 | | | | | | | 153.24 | 7,797.06 |

Cuadro 49: Pichucalco 02 Chapultenango julio 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1-Jul-13 | 13:59 | 561 | 19.00 | 38.40 | 23.96 | 38.40 | 28.20 | 22.88 | 19.50 | 16.80 | 18.00 | 4.07 | 73.24 |
| 2-Jul-13 | 15:28 | 473 | 34.10 | 23.91 | 21.55 | 20.40 | 23.91 | 23.47 | 22.43 | 20.45 | 18.64 | 7.01 | 130.58 |
| 3-Jul-13 | 12:27 | 638 | 9.30 | 31.00 | 17.33 | 31.00 | 20.66 | 16.24 | 14.10 | 11.83 | 10.15 | 1.68 | 17.08 |
| 4-Jul-13 | 13:35 | 292 | 36.60 | 56.00 | 41.04 | 56.00 | 50.40 | 42.27 | 33.77 | 33.70 | 30.11 | 8.05 | 242.32 |
| 5-Jul-13 | 14:20 | 136 | 24.00 | 40.80 | 36.33 | 38.40 | 36.00 | 30.00 | 40.80 | 38.88 | 33.90 | 5.71 | 193.62 |
| 6-Jul-13 | 16:56 | 80 | 23.30 | 63.60 | 55.54 | 63.60 | 63.60 | 61.83 | 54.81 | 47.33 | 42.10 | 6.01 | 253.19 |
| 8-Jul-13 | 21:13 | 10 | 0.60 | 6.34 | 2.80 | 6.34 | 3.60 | 2.40 | 1.80 | 1.44 | 1.20 | 0.11 | 0.14 |
| 9-Jul-13 | 15:08 | 245 | 9.70 | 13.74 | 10.64 | 12.72 | 6.94 | 6.48 | 13.74 | 11.95 | 12.00 | 2.00 | 23.95 |
| 10-Jul-13 | 16:58 | 389 | 22.30 | 44.40 | 33.39 | 44.40 | 43.20 | 37.04 | 29.73 | 24.62 | 21.32 | 4.59 | 97.94 |
| 11-Jul-13 | 18:16 | 413 | 3.30 | 9.00 | 5.01 | 9.00 | 6.00 | 5.22 | 3.96 | 3.20 | 2.69 | 0.47 | 1.27 |
| 12-Jul-13 | 14:09 | 395 | 7.50 | 21.00 | 14.59 | 21.00 | 21.00 | 14.89 | 11.80 | 9.84 | 9.00 | 1.28 | 11.54 |
| 13-Jul-13 | 16:06 | 635 | 15.50 | 8.57 | 7.56 | 8.57 | 8.04 | 7.63 | 7.42 | 7.04 | 6.64 | 2.49 | 16.56 |
| 14-Jul-13 | 15:02 | 522 | 2.20 | 5.25 | 3.56 | 5.25 | 3.75 | 3.40 | 3.30 | 3.00 | 2.67 | 0.25 | 0.68 |
| 15-Jul-13 | 13:49 | 18 | 1.10 | 6.00 | 3.82 | 6.00 | 4.67 | 4.10 | 3.30 | 2.64 | 2.20 | 0.19 | 0.42 |
| 17-Jul-13 | 14:26 | 383 | 37.70 | 47.40 | 42.09 | 47.40 | 43.56 | 45.33 | 42.70 | 39.12 | 34.40 | 9.02 | 310.28 |
| 18-Jul-13 | 3:32 | 13 | 0.30 | 2.40 | 1.23 | 2.40 | 1.58 | 1.20 | 0.90 | 0.72 | 0.60 | 0.04 | 0.02 |
| 18-Jul-13 | 16:45 | 351 | 23.20 | 36.75 | 22.27 | 36.75 | 21.00 | 24.50 | 19.69 | 16.80 | 14.86 | 5.44 | 80.83 |
| 20-Jul-13 | 17:08 | 177 | 1.00 | 4.80 | 2.07 | 4.80 | 2.50 | 1.73 | 1.34 | 1.11 | 0.96 | 0.11 | 0.10 |
| 23-Jul-13 | 17:09 | 381 | 14.00 | 42.60 | 32.27 | 42.60 | 42.60 | 33.20 | 28.90 | 24.72 | 21.60 | 3.15 | 68.14 |
| 24-Jul-13 | 18:21 | 283 | 2.20 | 8.00 | 4.46 | 8.00 | 6.07 | 4.27 | 3.33 | 2.73 | 2.33 | 0.29 | 0.69 |
| 30-Jul-13 | 16:40 | 363 | 9.90 | 53.33 | 33.44 | 53.33 | 49.00 | 34.17 | 25.84 | 20.85 | 17.46 | 2.39 | 41.75 |
| 31-Jul-13 | 18:30 | 192 | 36.30 | 75.00 | 60.69 | 75.00 | 69.23 | 61.54 | 57.69 | 52.96 | 47.70 | 9.18 | 437.67 |
| TOTAL | | | 333.10 | 75.00 | 21.62 | | | | | | | 73.53 | 2,002.01 |

Cuadro 50: Pichucalco 02 Chapultenango agosto 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 01 Ago 2013 | 18:33 | 331 | 13.60 | 57.60 | 36.33 | 57.60 | 45.72 | 36.32 | 30.09 | 25.85 | 22.40 | 3.15 | 67.39 |
| 02 Ago 2013 | 19:40 | 97 | 2.10 | 8.93 | 4.05 | 8.93 | 4.80 | 3.42 | 2.74 | 2.33 | 2.06 | 0.37 | 0.77 |
| 03 Ago 2013 | 20:12 | 23 | 2.40 | 14.40 | 8.15 | 14.40 | 8.70 | 8.40 | 6.86 | 5.76 | 4.80 | 0.51 | 2.44 |
| 04 Ago 2013 | 18:20 | 240 | 9.50 | 31.00 | 19.97 | 31.00 | 27.60 | 20.69 | 16.31 | 13.20 | 11.04 | 2.01 | 22.14 |
| 05 Ago 2013 | 18:47 | 8 | 4.10 | 39.60 | 18.49 | 39.60 | 24.60 | 16.40 | 12.30 | 9.84 | 8.20 | 1.06 | 8.70 |
| 06 Ago 2013 | 16:56 | 22 | 4.20 | 18.00 | 13.61 | 18.00 | 17.00 | 15.76 | 12.40 | 10.08 | 8.40 | 0.93 | 7.78 |
| 09 Ago 2013 | 12:51 | 622 | 50.30 | 75.75 | 65.03 | 75.75 | 71.62 | 66.11 | 62.68 | 58.44 | 55.62 | 11.87 | 659.99 |
| 10 Ago 2013 | 16:56 | 107 | 1.90 | 3.33 | 2.67 | 3.33 | 3.09 | 2.34 | 2.40 | 2.52 | 2.32 | 0.26 | 0.60 |
| 11 Ago 2013 | 16:10 | 33 | 3.50 | 20.00 | 11.48 | 20.00 | 13.80 | 11.47 | 9.10 | 7.70 | 6.78 | 0.72 | 4.91 |
| 12 Ago 2013 | 15:20 | 255 | 25.10 | 67.20 | 42.07 | 67.20 | 57.75 | 40.93 | 32.23 | 26.32 | 27.97 | 6.26 | 175.14 |
| 13 Ago 2013 | 3:53 | 16 | 0.40 | 1.50 | 1.24 | 1.50 | 1.50 | 1.50 | 1.20 | 0.96 | 0.80 | 0.05 | 0.00 |
| 13 Ago 2013 | 17:21 | 330 | 81.90 | 92.40 | 58.49 | 92.40 | 78.34 | 62.29 | 47.25 | 38.23 | 32.42 | 20.70 | 671.13 |
| 14 Ago 2013 | 16:17 | 446 | 24.80 | 26.26 | 18.45 | 26.26 | 20.01 | 17.93 | 16.70 | 15.36 | 14.47 | 5.33 | 77.13 |
| 15 Ago 2013 | 18:56 | 344 | 58.50 | 75.84 | 59.57 | 75.84 | 58.66 | 54.49 | 53.47 | 56.24 | 58.70 | 14.77 | 867.26 |
| 16 Ago 2013 | 16:30 | 751 | 72.40 | 79.20 | 56.32 | 79.20 | 58.40 | 58.80 | 52.00 | 48.12 | 41.42 | 17.66 | 731.39 |
| 17 Ago 2013 | 14:27 | 543 | 8.20 | 16.29 | 14.29 | 16.29 | 16.20 | 15.60 | 14.02 | 12.27 | 11.36 | 1.50 | 16.99 |
| 18 Ago 2013 | 15:49 | 168 | 26.00 | 34.62 | 29.05 | 34.62 | 34.62 | 31.73 | 27.05 | 24.24 | 22.07 | 5.76 | 127.16 |
| 19 Ago 2013 | 15:53 | 148 | 1.10 | 8.40 | 3.74 | 8.40 | 4.80 | 3.22 | 2.42 | 1.95 | 1.63 | 0.20 | 0.33 |
| 20 Ago 2013 | 14:10 | 207 | 4.30 | 18.00 | 10.06 | 18.00 | 11.80 | 10.48 | 8.11 | 6.51 | 5.44 | 0.87 | 4.73 |
| 21 Ago 2013 | 18:35 | 294 | 10.00 | 18.00 | 12.07 | 18.00 | 16.20 | 12.00 | 9.90 | 8.64 | 7.68 | 1.66 | 12.75 |
| 22 Ago 2013 | 14:49 | 399 | 49.80 | 92.40 | 59.32 | 92.40 | 79.80 | 60.40 | 46.05 | 40.68 | 36.60 | 11.65 | 426.45 |
| 23 Ago 2013 | 19:48 | 187 | 34.10 | 80.57 | 53.35 | 80.57 | 69.60 | 55.20 | 45.60 | 36.93 | 32.20 | 8.41 | 264.21 |
| 24 Ago 2013 | 15:29 | 262 | 8.70 | 35.40 | 23.82 | 35.40 | 28.44 | 24.40 | 20.85 | 18.00 | 15.83 | 1.93 | 30.60 |
| 25 Ago 2013 | 13:16 | 682 | 39.70 | 75.75 | 60.21 | 75.75 | 69.34 | 60.80 | 56.53 | 51.84 | 47.01 | 9.52 | 447.42 |
| 26 Ago 2013 | 1:01 | 169 | 10.50 | 21.60 | 14.26 | 21.60 | 16.05 | 14.06 | 12.90 | 11.07 | 9.87 | 2.00 | 19.76 |
| 28 Ago 2013 | 20:52 | 115 | 1.10 | 4.00 | 2.23 | 4.00 | 2.80 | 2.12 | 1.74 | 1.46 | 1.24 | 0.13 | 0.17 |
| 29 Ago 2013 | 13:21 | 635 | 40.70 | 88.80 | 74.60 | 88.80 | 88.11 | 78.80 | 71.10 | 63.18 | 57.63 | 9.87 | 569.06 |
| 30 Ago 2013 | 12:00 | 655 | 41.30 | 43.50 | 42.06 | 43.50 | 43.50 | 43.09 | 42.68 | 41.12 | 38.47 | 9.56 | 367.76 |
| 31 Ago 2013 | 13:40 | 869 | 13.30 | 39.45 | 22.94 | 39.45 | 22.35 | 20.64 | 20.25 | 18.53 | 16.44 | 2.55 | 41.87 |
| TOTAL | | | 643.50 | 92.40 | 28.89 | | | | | | | 151.26 | 5,626.03 |

Cuadro 51: Pichucalco 02 Chapultenango septiembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1-Sep-13 | 15:07 | 413 | 2.30 | 4.00 | 3.45 | 4.00 | 4.00 | 4.00 | 3.28 | 2.85 | 2.56 | 0.28 | 0.71 |
| 2-Sep-13 | 12:30 | 369 | 49.20 | 87.43 | 64.11 | 87.43 | 73.44 | 62.00 | 59.30 | 54.40 | 48.09 | 12.10 | 581.83 |
| 3-Sep-13 | 4:15 | 125 | 5.00 | 23.20 | 14.92 | 23.20 | 18.60 | 15.60 | 12.45 | 10.56 | 9.13 | 1.02 | 9.30 |
| 4-Sep-13 | 19:20 | 360 | 9.60 | 7.60 | 3.68 | 7.60 | 4.54 | 3.27 | 2.59 | 2.18 | 1.91 | 1.55 | 2.96 |
| 5-Sep-13 | 15:26 | 622 | 59.00 | 43.92 | 30.04 | 43.92 | 38.16 | 31.03 | 25.63 | 22.08 | 19.40 | 12.77 | 247.75 |
| 6-Sep-13 | 15:30 | 162 | 28.90 | 55.80 | 41.41 | 55.80 | 47.40 | 41.77 | 37.80 | 34.77 | 30.90 | 6.93 | 214.06 |
| 7-Sep-13 | 15:25 | 182 | 2.70 | 7.20 | 4.34 | 7.20 | 5.10 | 4.24 | 3.63 | 3.16 | 2.73 | 0.38 | 1.05 |
| 8-Sep-13 | 12:24 | 52 | 10.40 | 25.20 | 22.61 | 25.20 | 25.14 | 25.13 | 22.26 | 19.89 | 18.05 | 2.34 | 42.25 |
| 8-Sep-13 | 21:47 | 306 | 14.70 | 25.80 | 14.96 | 25.80 | 17.58 | 13.92 | 11.94 | 10.67 | 9.83 | 2.76 | 27.15 |
| 9-Sep-13 | 18:26 | 100 | 0.70 | 0.71 | 0.64 | 0.71 | 0.71 | 0.64 | 0.64 | 0.57 | 0.53 | 0.06 | 0.03 |
| 10-Sep-13 | 3:04 | 112 | 0.60 | 0.75 | 0.68 | 0.75 | 0.75 | 0.75 | 0.67 | 0.61 | 0.56 | 0.05 | 0.03 |
| 10-Sep-13 | 16:50 | 552 | 64.40 | 97.37 | 85.00 | 97.37 | 92.40 | 95.60 | 83.66 | 73.78 | 67.20 | 16.00 | 860.64 |
| 11-Sep-13 | 11:00 | 820 | 85.80 | 48.13 | 30.28 | 48.13 | 32.40 | 26.27 | 24.30 | 25.17 | 25.40 | 20.03 | 488.62 |
| 12-Sep-13 | 11:15 | 15 | 0.40 | 1.60 | 1.29 | 1.60 | 1.60 | 1.60 | 1.20 | 0.96 | 0.80 | 0.05 | 0.00 |
| 13-Sep-13 | 1:39 | 2,062 | 7.50 | 1.76 | 1.59 | 1.76 | 1.76 | 1.76 | 1.60 | 1.40 | 1.27 | 0.71 | 0.91 |
| 17-Sep-13 | 13:48 | 772 | 51.80 | 57.30 | 42.73 | 57.30 | 42.90 | 36.00 | 39.75 | 39.12 | 41.30 | 11.51 | 475.31 |
| 18-Sep-13 | 15:43 | 493 | 33.70 | 50.27 | 22.86 | 50.27 | 25.80 | 19.20 | 15.90 | 13.86 | 12.13 | 7.22 | 87.56 |
| 19-Sep-13 | 12:00 | 341 | 44.50 | 95.72 | 61.65 | 95.72 | 70.02 | 61.45 | 52.23 | 45.71 | 44.77 | 10.79 | 483.18 |
| 20-Sep-13 | 19:23 | 58 | 3.20 | 12.00 | 5.58 | 12.00 | 6.64 | 4.86 | 3.93 | 3.25 | 2.80 | 0.59 | 1.66 |
| 22-Sep-13 | 13:53 | 604 | 37.60 | 80.00 | 41.50 | 80.00 | 53.04 | 39.44 | 30.52 | 25.01 | 20.96 | 7.82 | 163.90 |
| 23-Sep-13 | 16:03 | 58 | 10.30 | 33.00 | 23.34 | 33.00 | 22.80 | 21.50 | 23.92 | 20.64 | 18.20 | 2.35 | 0.00 |
| 24-Sep-13 | 19:36 | 367 | 6.80 | 11.80 | 7.20 | 11.80 | 8.40 | 6.71 | 5.87 | 5.38 | 5.06 | 1.02 | 5.14 |
| 25-Sep-13 | 13:59 | 586 | 3.80 | 3.00 | 2.48 | 3.00 | 2.67 | 2.22 | 2.22 | 2.34 | 2.41 | 0.46 | 1.12 |
| 29-Sep-13 | 19:59 | 61 | 4.00 | 24.00 | 13.06 | 24.00 | 17.14 | 12.84 | 9.77 | 7.93 | 6.70 | 0.83 | 5.57 |
| TOTAL | | | 536.90 | 97.37 | 22.48 | | | | | | | 119.62 | 3,700.73 |

Cuadro 52: Pichucalco 02 Chapultenango octubre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 2-Oct-13 | 20:24 | 229 | 5.80 | 9.84 | 4.95 | 9.84 | 5.80 | 4.20 | 3.66 | 3.37 | 2.83 | 0.97 | 2.76 |
| 3-Oct-13 | 18:30 | 89 | 3.20 | 11.76 | 5.19 | 11.76 | 6.62 | 4.44 | 3.36 | 2.70 | 2.27 | 0.65 | 1.47 |
| 4-Oct-13 | 15:20 | 352 | 11.60 | 16.82 | 14.09 | 14.40 | 12.09 | 16.34 | 16.82 | 13.54 | 11.35 | 2.42 | 27.50 |
| 6-Oct-13 | 18:55 | 589 | 95.20 | 143.80 | 109.90 | 143.80 | 122.40 | 109.47 | 99.10 | 93.81 | 90.80 | 23.88 | 2,167.94 |
| 7-Oct-13 | 17:42 | 384 | 108.70 | 88.08 | 68.46 | 88.08 | 74.40 | 66.90 | 63.10 | 59.88 | 58.40 | 27.00 | 1,576.97 |
| 8-Oct-13 | 11:03 | 623 | 64.40 | 43.00 | 26.31 | 43.00 | 28.60 | 23.40 | 21.80 | 20.84 | 20.20 | 13.64 | 275.61 |
| 9-Oct-13 | 14:36 | 304 | 3.50 | 6.24 | 3.10 | 6.24 | 3.72 | 2.84 | 2.28 | 1.92 | 1.61 | 0.49 | 0.79 |
| 10-Oct-13 | 19:00 | 154 | 19.70 | 25.60 | 19.63 | 25.60 | 16.80 | 12.00 | 24.20 | 20.96 | 18.24 | 4.39 | 79.99 |
| 12-Oct-13 | 18:56 | 24 | 3.50 | 20.00 | 12.13 | 20.00 | 13.95 | 13.20 | 10.23 | 8.40 | 7.00 | 0.76 | 5.30 |
| 13-Oct-13 | 21:16 | 579 | 47.80 | 62.40 | 42.51 | 62.40 | 48.60 | 38.00 | 38.10 | 35.76 | 32.17 | 11.78 | 378.94 |
| 14-Oct-13 | 13:52 | 49 | 1.10 | 3.00 | 2.02 | 3.00 | 2.10 | 2.04 | 1.70 | 1.63 | 1.66 | 0.15 | 0.25 |
| 17-Oct-13 | 20:09 | 144 | 3.70 | 15.00 | 6.74 | 15.00 | 8.48 | 5.79 | 4.45 | 3.64 | 3.10 | 0.77 | 2.39 |
| 18-Oct-13 | 17:03 | 66 | 1.40 | 3.47 | 2.37 | 3.47 | 2.40 | 2.00 | 2.10 | 2.24 | 1.98 | 0.20 | 0.40 |
| 19-Oct-13 | 13:26 | 990 | 53.80 | 90.90 | 56.87 | 90.90 | 70.20 | 56.80 | 47.40 | 40.32 | 35.60 | 12.81 | 456.20 |
| 21-Oct-13 | 15:04 | 366 | 7.10 | 24.00 | 13.36 | 24.00 | 17.11 | 12.44 | 10.11 | 8.71 | 7.78 | 1.27 | 9.91 |
| 22-Oct-13 | 13:02 | 592 | 39.60 | 42.48 | 28.65 | 42.48 | 35.04 | 29.60 | 24.48 | 21.39 | 18.93 | 8.45 | 160.03 |
| 23-Oct-13 | 5:35 | 2,701 | 94.70 | 28.50 | 23.61 | 28.50 | 26.73 | 24.36 | 22.76 | 20.43 | 18.89 | 16.86 | 318.38 |
| 25-Oct-13 | 11:11 | 1,647 | 47.70 | 29.45 | 26.12 | 29.45 | 28.34 | 27.97 | 26.40 | 23.76 | 20.80 | 8.73 | 181.60 |
| 27-Oct-13 | 0:00 | 89 | 1.90 | 6.00 | 4.51 | 6.00 | 5.00 | 4.67 | 4.29 | 3.85 | 3.27 | 0.30 | 0.98 |
| 27-Oct-13 | 8:08 | 1,405 | 23.30 | 28.50 | 14.14 | 28.50 | 17.04 | 12.47 | 10.17 | 8.78 | 7.86 | 4.13 | 32.50 |
| 28-Oct-13 | 16:00 | 693 | 80.90 | 110.10 | 78.46 | 110.10 | 83.06 | 72.80 | 73.76 | 66.03 | 65.00 | 19.22 | 1,153.33 |
| TOTAL | | | 718.60 | 143.80 | 26.82 | | | | | | | 158.87 | 6,833.24 |

Cuadro 53: Pichucalco 02 Chapultenango noviembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 1-Nov-13 | 14:03 | 57 | 1.00 | 4.10 | 2.41 | 4.10 | 2.67 | 2.19 | 1.96 | 1.81 | 1.72 | 0.14 | 0.24 |
| 2-Nov-13 | 13:39 | 430 | 38.70 | 93.12 | 64.79 | 93.12 | 66.72 | 66.80 | 61.92 | 53.76 | 46.42 | 9.02 | 418.67 |
| 3-Nov-13 | 1:08 | 1,228 | 82.50 | 92.40 | 54.34 | 92.40 | 64.63 | 48.00 | 39.00 | 42.21 | 39.80 | 18.78 | 747.28 |
| 6-Nov-13 | 14:38 | 586 | 55.20 | 43.20 | 24.18 | 43.20 | 30.72 | 22.56 | 19.20 | 15.83 | 13.58 | 12.30 | 166.98 |
| 7-Nov-13 | 16:21 | 451 | 8.40 | 23.40 | 16.54 | 23.40 | 20.16 | 17.07 | 15.13 | 12.64 | 10.86 | 1.70 | 18.47 |
| 8-Nov-13 | 2:56 | 1,314 | 162.80 | 37.92 | 26.72 | 37.92 | 30.66 | 23.40 | 21.30 | 24.10 | 22.95 | 36.31 | 833.29 |
| 9-Nov-13 | 14:53 | 224 | 16.10 | 19.89 | 14.21 | 19.89 | 19.80 | 13.77 | 10.86 | 10.32 | 10.60 | 3.31 | 35.12 |
| 10-Nov-13 | 1:22 | 1,268 | 46.90 | 37.33 | 32.61 | 37.33 | 36.72 | 34.60 | 32.70 | 28.64 | 25.68 | 8.92 | 229.10 |
| 11-Nov-13 | 5:04 | 385 | 4.10 | 5.46 | 4.35 | 5.46 | 5.46 | 4.53 | 3.90 | 3.51 | 3.24 | 0.55 | 1.78 |
| 12-Nov-13 | 15:45 | 533 | 28.50 | 17.02 | 10.62 | 17.02 | 11.64 | 9.86 | 8.96 | 8.36 | 7.89 | 5.63 | 44.42 |
| 13-Nov-13 | 1:07 | 1,396 | 80.30 | 89.52 | 64.56 | 89.52 | 70.68 | 63.54 | 57.94 | 54.53 | 51.14 | 18.01 | 921.17 |
| 14-Nov-13 | 2:40 | 1,274 | 25.00 | 5.20 | 2.78 | 5.20 | 2.85 | 2.26 | 2.17 | 2.12 | 2.09 | 3.46 | 7.23 |
| 15-Nov-13 | 1:23 | 1,337 | 9.40 | 4.42 | 4.21 | 4.42 | 4.42 | 4.42 | 4.33 | 4.00 | 3.66 | 1.02 | 3.72 |
| 18-Nov-13 | 16:00 | 406 | 38.30 | 78.13 | 46.73 | 78.13 | 57.40 | 47.36 | 38.10 | 32.16 | 27.21 | 9.29 | 252.90 |
| 19-Nov-13 | 16:36 | 386 | 3.90 | 13.44 | 6.43 | 13.44 | 7.99 | 5.64 | 4.46 | 3.76 | 3.29 | 0.63 | 2.07 |
| 23-Nov-13 | 12:42 | 664 | 37.10 | 53.60 | 32.42 | 53.60 | 42.40 | 33.20 | 26.08 | 21.23 | 18.00 | 8.15 | 141.84 |
| 24-Nov-13 | 3:07 | 1,291 | 117.00 | 52.40 | 28.97 | 52.40 | 34.08 | 26.55 | 22.68 | 20.19 | 17.93 | 24.56 | 440.36 |
| 25-Nov-13 | 1:00 | 1,310 | 20.10 | 6.80 | 5.07 | 6.80 | 5.49 | 5.02 | 4.60 | 4.35 | 4.18 | 3.14 | 13.11 |
| 26-Nov-13 | 12:24 | 725 | 62.40 | 19.66 | 10.89 | 19.66 | 12.37 | 9.90 | 8.55 | 7.72 | 7.16 | 12.06 | 86.41 |
| 27-Nov-13 | 1:10 | 1,077 | 41.90 | 10.60 | 7.50 | 10.60 | 8.05 | 7.20 | 6.75 | 6.48 | 5.93 | 7.01 | 41.55 |
| TOTAL | | | 879.60 | 707.61 | 460.33 | | | | | | | 183.99 | 4,405.71 |

Cuadro 54: Pichucalco 02 Chapultenango diciembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 01 Dic 2013 | 20:39 | 104 | 0.50 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.32 | 0.04 | 0.00 |
| 07 Dic 2013 | 8:20 | 2,097 | 68.00 | 20.27 | 15.33 | 15.60 | 10.80 | 20.27 | 17.30 | 15.00 | 13.00 | 13.57 | 173.64 |
| 10 Dic 2013 | 17:55 | 356 | 37.30 | 48.00 | 23.98 | 48.00 | 28.50 | 21.40 | 18.00 | 15.00 | 13.00 | 7.94 | 103.17 |
| 11 Dic 2013 | 10:50 | 614 | 3.20 | 6.69 | 3.42 | 6.69 | 4.20 | 3.11 | 2.56 | 2.16 | 1.81 | 0.40 | 0.72 |
| 12 Dic 2013 | 0:32 | 1,798 | 156.60 | 58.97 | 38.82 | 58.97 | 38.91 | 40.00 | 34.71 | 31.35 | 29.00 | 34.56 | 1,002.35 |
| 13 Dic 2013 | 15:10 | 453 | 8.70 | 9.27 | 7.27 | 9.27 | 9.27 | 8.07 | 6.19 | 5.30 | 5.50 | 1.43 | 7.86 |
| 24 Dic 2013 | 14:30 | 557 | 61.10 | 87.00 | 54.91 | 87.00 | 67.20 | 58.80 | 47.14 | 37.78 | 31.55 | 14.99 | 472.96 |
| TOTAL | | | 335.40 | 87.00 | 20.58 | | | | | | | 72.93 | 1,760.70 |

7.4.2 Microcuenca 09

Cuadro 55: El Platanar 09 Sunuapa abril 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 04 Abr 2013 | 21:07 | 961 | 49.10 | 33.20 | 27.14 | 33.20 | 32.60 | 29.30 | 25.80 | 22.29 | 19.63 | 10.09 | 198.15 |
| 19 Abr 2013 | 17:26 | 598 | 34.30 | 11.83 | 6.46 | 11.83 | 7.65 | 5.85 | 4.95 | 4.41 | 4.05 | 6.20 | 25.11 |
| 20 Abr 2013 | 9:27 | 542 | 4.70 | 9.00 | 4.93 | 9.00 | 5.94 | 4.56 | 3.78 | 3.30 | 3.00 | 0.57 | 1.71 |
| 21 Abr 2013 | 7:28 | 150 | 1.30 | 1.73 | 1.00 | 1.73 | 1.20 | 0.93 | 0.80 | 0.72 | 0.63 | 0.14 | 0.09 |
| TOTAL | | | 89.40 | 33.20 | 9.88 | | | | | | | 17.00 | 225.06 |

Cuadro 56: El Platanar 09 Sunuapa julio 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 2-Jul-13 | 18:20 | 332 | 26.40 | 38.70 | 28.76 | 38.70 | 36.60 | 30.97 | 25.88 | 21.62 | 18.77 | 5.41 | 101.53 |
| 3-Jul-13 | 17:47 | 345 | 47.30 | 96.00 | 63.28 | 96.00 | 78.00 | 65.37 | 55.08 | 45.62 | 39.58 | 11.27 | 445.87 |
| 10-Jul-13 | 19:36 | 208 | 50.40 | 119.60 | 78.44 | 119.60 | 93.47 | 73.04 | 60.63 | 59.68 | 64.20 | 13.18 | 845.95 |
| 11-Jul-13 | 18:30 | 69 | 18.60 | 78.15 | 54.99 | 78.15 | 61.20 | 61.13 | 51.60 | 42.14 | 35.74 | 4.85 | 173.36 |
| 12-Jul-13 | 16:52 | 394 | 4.30 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 3.27 | 0.54 | 0.00 |
| 13-Jul-13 | 18:35 | 492 | 60.10 | 76.00 | 50.27 | 76.00 | 65.33 | 49.47 | 38.10 | 32.16 | 40.53 | 14.05 | 569.69 |
| 14-Jul-13 | 19:23 | 99 | 2.00 | 5.14 | 3.84 | 5.14 | 4.44 | 3.89 | 3.62 | 3.19 | 2.76 | 0.29 | 0.79 |
| 16-Jul-13 | 12:27 | 41 | 3.40 | 16.50 | 10.10 | 16.50 | 12.38 | 9.87 | 8.40 | 7.17 | 6.29 | 0.67 | 4.19 |
| 17-Jul-13 | 23:05 | 175 | 5.50 | 6.00 | 4.51 | 6.00 | 5.70 | 4.95 | 3.99 | 3.41 | 3.03 | 0.85 | 2.58 |
| 18-Jul-13 | 15:31 | 537 | 7.60 | 4.67 | 3.21 | 4.67 | 4.31 | 3.22 | 2.68 | 2.36 | 2.03 | 1.09 | 2.21 |
| 19-Jul-13 | 19:53 | 37 | 0.90 | 2.31 | 1.97 | 2.31 | 2.31 | 2.13 | 1.85 | 1.68 | 1.57 | 0.12 | 0.19 |
| 20-Jul-13 | 18:03 | 119 | 33.70 | 35.60 | 29.68 | 35.60 | 33.80 | 33.20 | 26.10 | 25.15 | 24.24 | 7.84 | 189.95 |
| 21-Jul-13 | 17:03 | 97 | 14.50 | 127.20 | 58.45 | 127.20 | 72.15 | 50.40 | 39.64 | 33.36 | 27.98 | 3.72 | 104.17 |
| 23-Jul-13 | 17:04 | 167 | 40.40 | 60.45 | 52.21 | 48.69 | 37.50 | 56.64 | 60.45 | 56.16 | 53.84 | 10.05 | 541.27 |
| 24-Jul-13 | 18:15 | 198 | 6.50 | 35.25 | 20.44 | 35.25 | 28.62 | 19.78 | 15.36 | 12.71 | 10.92 | 1.43 | 15.61 |
| 30-Jul-13 | 16:53 | 518 | 6.20 | 9.43 | 6.15 | 9.43 | 7.05 | 6.40 | 5.51 | 4.56 | 3.92 | 0.96 | 3.78 |
| 31-Jul-13 | 19:17 | 52 | 6.80 | 22.80 | 10.94 | 22.80 | 14.45 | 9.78 | 7.45 | 6.06 | 5.12 | 1.51 | 7.74 |
| TOTAL | | | 334.60 | 127.20 | 28.27 | | | | | | | 77.83 | 3,008.88 |

Cuadro 57: El Platanar 09 Sunuapa agosto 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 01 Ago 2013 | 20:55 | 335 | 18.20 | 100.29 | 58.69 | 100.29 | 72.00 | 53.60 | 50.80 | 41.04 | 34.41 | 4.67 | 160.82 |
| 02 Ago 2013 | 18:40 | 146 | 17.90 | 36.34 | 23.63 | 36.34 | 33.60 | 23.20 | 18.00 | 16.63 | 14.00 | 4.10 | 56.64 |
| 03 Ago 2013 | 18:20 | 123 | 3.00 | 10.32 | 8.33 | 10.32 | 9.26 | 8.89 | 8.70 | 6.97 | 5.82 | 0.59 | 3.41 |
| 04 Ago 2013 | 20:24 | 48 | 0.80 | 5.00 | 2.40 | 5.00 | 3.09 | 2.13 | 1.65 | 1.36 | 1.17 | 0.12 | 0.14 |
| 05 Ago 2013 | 16:09 | 168 | 6.20 | 10.20 | 6.18 | 10.20 | 8.20 | 6.46 | 4.91 | 3.98 | 3.36 | 1.01 | 3.39 |
| 09 Ago 2013 | 13:10 | 480 | 18.20 | 64.50 | 42.79 | 64.50 | 56.40 | 43.76 | 35.37 | 30.18 | 26.52 | 4.03 | 107.02 |
| 11 Ago 2013 | 15:42 | 51 | 0.50 | 0.80 | 0.76 | 0.80 | 0.80 | 0.80 | 0.75 | 0.72 | 0.70 | 0.05 | 0.04 |
| 12 Ago 2013 | 16:55 | 97 | 5.00 | 20.98 | 10.30 | 20.98 | 11.95 | 8.94 | 7.44 | 6.54 | 5.93 | 0.93 | 5.51 |
| 13 Ago 2013 | 18:36 | 444 | 76.00 | 126.00 | 94.86 | 126.00 | 99.96 | 87.44 | 88.62 | 83.62 | 83.52 | 19.78 | 1,652.43 |
| 14 Ago 2013 | 19:16 | 633 | 64.30 | 139.20 | 90.71 | 139.20 | 106.69 | 89.67 | 79.20 | 69.07 | 60.44 | 15.66 | 946.57 |
| 15 Ago 2013 | 11:57 | 3 | 2.00 | 24.00 | 9.80 | 24.00 | 12.00 | 8.00 | 6.00 | 4.80 | 4.00 | 0.52 | 0.00 |
| 15 Ago 2013 | 18:15 | 503 | 30.00 | 56.00 | 39.30 | 56.00 | 48.00 | 44.00 | 33.75 | 28.68 | 25.37 | 6.82 | 173.11 |
| 16 Ago 2013 | 20:01 | 494 | 25.50 | 67.33 | 50.94 | 67.33 | 63.87 | 53.47 | 45.94 | 38.64 | 36.40 | 6.01 | 218.71 |
| 17 Ago 2013 | 14:06 | 637 | 54.90 | 101.00 | 74.89 | 101.00 | 88.37 | 77.50 | 66.94 | 60.12 | 55.40 | 13.63 | 755.21 |
| 18 Ago 2013 | 18:55 | 31 | 0.30 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.58 | 0.03 | 0.00 |
| 19 Ago 2013 | 7:16 | 14 | 2.80 | 12.86 | 9.52 | 12.86 | 12.34 | 11.20 | 8.40 | 6.72 | 5.60 | 0.60 | 1.79 |
| 19 Ago 2013 | 20:55 | 98 | 1.10 | 3.43 | 2.07 | 3.43 | 2.61 | 1.97 | 1.65 | 1.46 | 1.33 | 0.14 | 0.19 |
| 20 Ago 2013 | 15:16 | 525 | 8.20 | 36.00 | 25.77 | 36.00 | 36.00 | 28.29 | 21.76 | 17.76 | 14.82 | 1.88 | 27.78 |
| 21 Ago 2013 | 19:06 | 287 | 25.70 | 41.20 | 36.89 | 41.20 | 41.20 | 41.20 | 36.90 | 32.59 | 28.25 | 5.42 | 153.09 |
| 22 Ago 2013 | 17:35 | 51 | 14.60 | 65.83 | 42.79 | 65.83 | 47.49 | 45.44 | 38.04 | 32.18 | 27.77 | 3.69 | 102.51 |
| 23 Ago 2013 | 0:36 | 59 | 0.90 | 2.67 | 2.20 | 2.67 | 2.62 | 2.50 | 2.13 | 1.75 | 1.50 | 0.12 | 0.18 |
| 23 Ago 2013 | 20:46 | 390 | 10.50 | 35.14 | 22.52 | 35.14 | 25.20 | 21.07 | 21.63 | 17.44 | 14.64 | 2.17 | 31.72 |
| 24 Ago 2013 | 15:01 | 560 | 33.20 | 46.62 | 44.87 | 46.62 | 46.62 | 45.71 | 44.24 | 43.34 | 42.72 | 8.04 | 343.48 |
| 25 Ago 2013 | 13:59 | 831 | 44.50 | 48.60 | 40.78 | 48.60 | 48.60 | 42.80 | 39.90 | 34.28 | 30.48 | 9.98 | 304.16 |
| 26 Ago 2013 | 16:13 | 63 | 1.30 | 10.80 | 5.03 | 10.80 | 6.40 | 4.46 | 3.40 | 2.77 | 2.35 | 0.23 | 0.54 |
| 28 Ago 2013 | 3:43 | 13 | 0.40 | 3.73 | 1.75 | 3.73 | 2.20 | 1.60 | 1.20 | 0.96 | 0.80 | 0.06 | 0.05 |
| 28 Ago 2013 | 18:43 | 313 | 62.50 | 96.27 | 57.27 | 96.27 | 82.80 | 57.14 | 43.50 | 34.84 | 29.06 | 16.21 | 471.15 |
| 29 Ago 2013 | 21:38 | 318 | 23.30 | 53.60 | 29.35 | 53.60 | 34.80 | 28.40 | 23.31 | 19.32 | 16.67 | 4.80 | 80.07 |
| 30 Ago 2013 | 18:16 | 280 | 71.90 | 157.71 | 110.09 | 157.71 | 123.00 | 107.43 | 97.38 | 90.14 | 84.86 | 18.25 | 1,548.32 |
| 31 Ago 2013 | 17:34 | 637 | 61.30 | 101.00 | 69.70 | 101.00 | 92.91 | 69.66 | 60.60 | 50.64 | 43.40 | 15.48 | 671.70 |
| TOTAL | | | 685.00 | 157.71 | 33.83 | | | | | | | 165.02 | 7,819.73 |

Cuadro 58: El Platanar 09 Sunuapa septiembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 2-Sep-13 | 13:56 | 997 | 115.20 | 125.00 | 110.01 | 125.00 | 114.00 | 110.33 | 112.62 | 98.50 | 99.60 | 29.14 | 2,902.41 |
| 3-Sep-13 | 22:18 | 4 | 0.40 | 4.80 | 1.96 | 4.80 | 2.40 | 1.60 | 1.20 | 0.96 | 0.80 | 0.07 | 0.00 |
| 5-Sep-13 | 0:01 | 99 | 1.40 | 4.85 | 2.03 | 4.85 | 2.47 | 1.68 | 1.28 | 1.04 | 0.88 | 0.22 | 0.19 |
| 5-Sep-13 | 11:38 | 992 | 81.50 | 60.00 | 36.02 | 60.00 | 47.00 | 35.20 | 27.90 | 24.63 | 21.40 | 17.94 | 376.67 |
| 6-Sep-13 | 16:06 | 116 | 0.90 | 3.00 | 1.78 | 3.00 | 2.46 | 1.73 | 1.37 | 1.15 | 1.00 | 0.10 | 0.10 |
| 7-Sep-13 | 18:14 | 201 | 10.20 | 19.80 | 15.73 | 19.80 | 19.80 | 15.56 | 13.44 | 12.96 | 12.80 | 2.09 | 26.74 |
| 8-Sep-13 | 14:20 | 779 | 138.40 | 142.80 | 113.76 | 142.80 | 122.40 | 122.40 | 104.10 | 99.65 | 91.24 | 34.85 | 3,179.41 |
| 9-Sep-13 | 15:17 | 213 | 0.40 | 0.26 | 0.25 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.26 | 0.25 | 0.22 | 0.02 | 0.00 |
| 10-Sep-13 | 1:32 | 246 | 5.30 | 4.00 | 3.51 | 4.00 | 3.66 | 3.49 | 3.40 | 3.35 | 3.15 | 0.76 | 2.40 |
| 10-Sep-13 | 19:06 | 612 | 25.10 | 27.26 | 11.79 | 27.26 | 14.80 | 10.03 | 7.54 | 6.06 | 5.06 | 5.96 | 30.15 |
| 11-Sep-13 | 17:28 | 395 | 41.90 | 78.00 | 75.32 | 78.00 | 77.70 | 77.30 | 75.80 | 73.56 | 69.53 | 10.83 | 752.70 |
| 12-Sep-13 | 17:12 | 175 | 10.20 | 75.90 | 39.00 | 75.90 | 47.20 | 38.47 | 29.13 | 23.52 | 19.78 | 2.61 | 51.69 |
| 13-Sep-13 | 6:37 | 1,766 | 9.50 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 2.11 | 1.14 | 0.00 |
| 17-Sep-13 | 18:22 | 648 | 39.60 | 45.60 | 20.58 | 45.60 | 24.60 | 17.60 | 14.10 | 11.62 | 9.97 | 9.24 | 92.14 |
| 18-Sep-13 | 19:50 | 110 | 18.30 | 45.00 | 40.23 | 38.40 | 45.00 | 40.00 | 40.50 | 42.10 | 35.41 | 4.74 | 167.85 |
| 19-Sep-13 | 15:00 | 203 | 2.00 | 3.00 | 2.85 | 3.00 | 3.00 | 3.00 | 2.90 | 2.72 | 2.47 | 0.26 | 0.63 |
| 20-Sep-13 | 8:02 | 7 | 0.30 | 2.57 | 1.30 | 2.57 | 1.80 | 1.20 | 0.90 | 0.72 | 0.60 | 0.05 | 0.00 |
| 22-Sep-13 | 17:30 | 365 | 4.70 | 4.00 | 3.27 | 4.00 | 3.60 | 3.35 | 3.09 | 2.94 | 2.62 | 0.62 | 1.62 |
| 23-Sep-13 | 17:36 | 46 | 0.60 | 0.86 | 0.85 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.86 | 0.84 | 0.82 | 0.07 | 0.05 |
| 24-Sep-13 | 18:29 | 522 | 12.80 | 24.00 | 14.86 | 24.00 | 18.00 | 13.80 | 11.40 | 10.86 | 11.11 | 2.46 | 27.37 |
| 25-Sep-13 | 23:17 | 29 | 1.80 | 10.00 | 6.22 | 10.00 | 8.33 | 6.27 | 4.95 | 4.16 | 3.60 | 0.34 | 1.21 |
| 27-Sep-13 | 17:25 | 9 | 12.10 | 113.40 | 53.99 | 113.40 | 72.60 | 48.40 | 36.30 | 29.04 | 24.20 | 3.30 | 79.74 |
| 28-Sep-13 | 18:15 | 52 | 12.60 | 42.40 | 30.78 | 42.40 | 35.20 | 30.32 | 26.28 | 26.74 | 23.72 | 3.02 | 71.72 |
| TOTAL | | | 545.20 | 142.80 | 25.57 | | | | | | | 129.83 | 7,764.79 |

Cuadro 59: El Platanar 09 Sunuapa octubre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 2-Oct-13 | 23:26 | 28 | 2.30 | 14.74 | 8.02 | 14.74 | 10.40 | 7.71 | 5.88 | 4.78 | 4.60 | 0.51 | 2.36 |
| TOTAL | | | 2.30 | 14.74 | 8.02 | | | | | | | 0.51 | 2.36 |

Cuadro 60: El Platanar 09 Sunuapa noviembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 2-Nov-13 | 13:08 | 1,732 | 60.40 | 39.33 | 27.80 | 39.33 | 36.40 | 27.60 | 23.31 | 20.88 | 19.26 | 11.79 | 227.01 |
| 6-Nov-13 | 17:45 | 1,165 | 128.40 | 92.00 | 79.75 | 92.00 | 79.68 | 73.52 | 75.69 | 78.03 | 79.60 | 32.65 | 1,945.87 |
| 7-Nov-13 | 1:32 | 698 | 124.50 | 92.00 | 79.75 | 92.00 | 79.68 | 73.52 | 75.69 | 78.03 | 79.60 | 31.92 | 1,902.23 |
| 9-Nov-13 | 17:43 | 257 | 12.60 | 15.69 | 11.81 | 15.69 | 15.69 | 13.66 | 10.37 | 8.39 | 7.07 | 2.41 | 17.05 |
| 10-Nov-13 | 9:43 | 1,460 | 144.80 | 71.66 | 44.08 | 71.66 | 43.54 | 34.17 | 36.60 | 39.48 | 39.03 | 33.69 | 1,314.81 |
| 11-Nov-13 | 16:20 | 222 | 9.10 | 16.00 | 11.25 | 16.00 | 14.75 | 11.00 | 9.12 | 8.48 | 8.15 | 1.72 | 13.98 |
| 26-Nov-13 | 14:53 | 1,908 | 108.40 | 24.27 | 10.69 | 24.27 | 12.30 | 8.31 | 7.80 | 6.25 | 5.21 | 20.92 | 109.04 |
| TOTAL | | | 588.20 | 92.00 | 37.88 | | | | | | | 135.10 | 5,529.99 |

Cuadro 61: El Platanar 09 Sunuapa diciembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Hora inicio (h:min) | Duración (min) | Lámina total (mm) | I_{max} (mm /h) | I_{med} (mm /h) | I_5 (mm /h) | I_{10} (mm /h) | I_{15} (mm /h) | I_{20} (mm /h) | I_{25} (mm /h) | I_{30} (mm /h) | EC (MJ ha-1) | EI_{30} (MJ mm ha-1 h-1) |
|----------------------------|---------------------------|-------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|--------------------|----------------------------------|
| 23 Dic 2013 | 8:15 | 974 | 103.20 | 18.00 | 9.84 | 18.00 | 10.50 | 8.00 | 6.75 | 7.09 | 8.69 | 22.21 | 193.01 |
| 24 Dic 2013 | 1:00 | 1,375 | 121.30 | 34.00 | 32.24 | 34.00 | 34.00 | 34.00 | 32.65 | 30.22 | 28.60 | 26.33 | 753.06 |
| 25 Dic 2013 | 1:31 | 604 | 2.30 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.70 | 0.18 | 0.00 |
| 27 Dic 2013 | 14:03 | 572 | 23.90 | 6.00 | 5.13 | 6.00 | 6.00 | 5.39 | 4.78 | 4.42 | 4.17 | 3.78 | 15.78 |
| 28 Dic 2013 | 1:06 | 1,137 | 32.30 | 40.80 | 27.98 | 40.80 | 40.80 | 28.59 | 22.49 | 18.82 | 16.38 | 5.38 | 88.08 |
| 29 Dic 2013 | 3:40 | 407 | 2.20 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.71 | 0.19 | 0.00 |
| 30 Dic 2013 | 19:46 | 280 | 30.00 | 36.54 | 20.49 | 36.54 | 25.36 | 19.67 | 15.83 | 13.53 | 12.00 | 6.42 | 73.14 |
| 31 Dic 2013 | 1:44 | 1,322 | 74.50 | 18.30 | 18.27 | 18.30 | 18.30 | 18.30 | 18.30 | 18.24 | 18.20 | 14.05 | 255.78 |
| TOTAL | | | 389.70 | 40.80 | 14.42 | | | | | | | 78.54 | 1,378.85 |

7.5 Anexo 5. Limnigramas

7.5.1 Microcuenca 02

Cuadro 62: Pichucalco 02 Chapultenango abril 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| 19.4.2013 | 51.40 | 14:12 | 415 | 3,169 | 3938.9 | 68.3 | 77.9 | 0.88 | No bajó la plumilla |
| Media | 51.40 | | 415 | 3,169 | 3938.9 | 68.3 | 77.9 | 0.88 | |
| Máximo | 51.40 | | 415 | 3,169 | 3938.9 | 68.3 | 77.9 | 0.88 | |
| Mínimo | 51.40 | | 415 | 3,169 | 3938.9 | 68.3 | 77.9 | 0.88 | |

Cuadro 63: Pichucalco 02 Chapultenango mayo 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--|
| 1.5.2013 | 18.96 | 4:09 | 48 | 1,482 | 451.7 | 7.8 | | | No hubo registro de lluvia en el pluviograma |
| 12.5.2013 | 1.05 | 17:00 | 84 | 150 | 2.6 | 0.0 | | | Se trabó el papel en el pluviografo |
| 13.5.2013 | 2.17 | 23:15 | 48 | 600 | 12.9 | 0.2 | 22.5 | 0.01 | |
| Media | 7.40 | | 60 | 744 | 155.7 | 2.7 | 22.5 | 0.01 | |
| Máximo | 18.96 | | 84 | 1,482 | 451.7 | 7.8 | 22.5 | 0.01 | |
| Mínimo | 1.05 | | 48 | 150 | 2.6 | 0.0 | 22.5 | 0.01 | |

Cuadro 64: Pichucalco 02 Chapultenango junio 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---|
| 1.6.2013 | 33.89 | 21:45 | 354 | 1,128 | 178.9 | 3.1 | 60.8 | 0.05 | En el limnigrama está desplazado 6 h |
| 2.6.2013 | 35.64 | 13:45 | 54 | 1,428 | 986.9 | 17.1 | 61.8 | 0.28 | Solo se consideró el escurrimiento mientras duró la lluvia, porque se trabó la plumilla |
| 3.6.2013 | 13.19 | 19:57 | 63 | 1,068 | 217.0 | 3.8 | 83.6 | 0.04 | Ocurrió una lluvia 50 mm 5 hr antes, limnigrama incompleto |
| 5.6.2013 | 32.19 | 15:51 | 42 | 144 | 74.3 | 1.3 | 52.5 | 0.02 | Se sumaron dos eventos del mismo día |
| 5.6.2013 | 41.19 | 20:51 | 24 | 991 | 929.6 | 16.1 | | | Revisar este con el otro de 5-06 |
| 8.6.2013 | 0.76 | 15:54 | 25 | 91 | 2.2 | 0.0 | 5.1 | 0.01 | Empezó a escurrir 15 min. antes de que lloviera |
| 8.6.2013 | 0.51 | 23:54 | 24 | 282 | 3.6 | 0.1 | 8.8 | 0.01 | |
| 9.6.2013 | 0.51 | 13:24 | 12 | 330 | 3.8 | 0.1 | 12.4 | 0.01 | |
| 13.6.2013 | 4.22 | 14:09 | 9 | 441 | 22.8 | 0.4 | 15.8 | 0.03 | |
| 16.6.2013 | 4.22 | 17:36 | 24 | 738 | 40.8 | 0.7 | 6.2 | 0.11 | |
| 18.6.2013 | 21.58 | 3:06 | 1,286 | 2,786 | 754.0 | 13.1 | 40.3 | 0.32 | Se sumó la precipitación con fecha 19.06.2013 |
| 20.6.2013 | 17.72 | 16:18 | 24 | 162 | 74.9 | 1.3 | 22.7 | 0.06 | |
| 21.6.2013 | 0.76 | 15:36 | 306 | 324 | 3.1 | 0.1 | 15.0 | 0.00 | |
| 22.6.2013 | 0.30 | 18:36 | 36 | 174 | 0.9 | 0.0 | 3.1 | 0.01 | |
| 23.6.2013 | 1.05 | 17:42 | 36 | 234 | 3.5 | 0.1 | 5.2 | 0.01 | |
| 25.6.2013 | 0.51 | 16:42 | 48 | 762 | 7.0 | 0.1 | 2.2 | 0.06 | |
| 29.6.2013 | 98.91 | 17:36 | 42 | 1,898 | 1949.4 | 33.8 | 139.3 | 0.24 | Se sumó la precipitación con fecha 30.06.2013 |
| Media | 18.07 | | 142 | 764 | 309.0 | 5.4 | 33.4 | 0.08 | |
| Máximo | 98.91 | | 1,286 | 2,786 | 1949.4 | 33.8 | 139.3 | 0.32 | |
| Mínimo | 0.30 | | 9 | 91 | 0.9 | 0.0 | 2.2 | 0.00 | |

Cuadro 65: Pichucalco 02 Chapultenango julio 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--|
| 1.7.2013 | 2.62 | 14:00 | 138 | 243 | 7.5 | 0.1 | 19.0 | 0.01 | |
| 2.7.2013 | 3.11 | 17:12 | 156 | 525 | 36.9 | 0.6 | 34.1 | 0.02 | |
| 5.7.2013 | 25.85 | 14:12 | 36 | 1,441 | 571.3 | 9.9 | 24.0 | 0.41 | |
| 6.7.2013 | 15.36 | 17:09 | 36 | 1,458 | 167.5 | 2.9 | 23.3 | 0.12 | |
| 10.7.2013 | 5.48 | 19:39 | 6 | 912 | 43.4 | 0.8 | 22.3 | 0.03 | |
| 17.7.2013 | 15.36 | 16:21 | 54 | 313 | 94.1 | 1.6 | 37.7 | 0.04 | |
| 18.7.2013 | 20.25 | 14:33 | 90 | 276 | 86.3 | 1.5 | 23.2 | 0.06 | Empezó a llover a las 16:45 h y a escurrir a las 14.33 h |
| 23.7.2013 | 4.83 | 18:12 | 30 | 180 | 8.8 | 0.2 | 14.0 | 0.01 | |
| 30.7.2013 | 1.76 | 14:00 | 192 | 930 | 20.6 | 0.4 | 9.9 | 0.04 | |
| 31.7.2013 | 35.64 | 18:48 | 31 | 325 | 207.9 | 3.6 | 36.3 | 0.10 | |
| Media | 13.03 | | 77 | 660 | 124.4 | 2.2 | 24.4 | 0.09 | |
| Máximo | 35.64 | | 192 | 1,458 | 571.3 | 9.9 | 37.7 | 0.41 | |
| Mínimo | 1.76 | | 6 | 180 | 7.5 | 0.1 | 9.9 | 0.01 | |

Cuadro 66: Pichucalco 02 Chapultenango agosto 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---|
| 1.8.2013 | 2.62 | 19:06 | 6 | 120 | 5.3 | 0.1 | 13.6 | 0.01 | |
| 4.8.2013 | 1.05 | 17:06 | 1 | 73 | 3.8 | 0.1 | 9.5 | 0.01 | Empezó a llover a las 18:20 hr y a escurrir a las 17:06 h |
| 9.8.2013 | 28.93 | 13:48 | 24 | 612 | 98.4 | 1.7 | 50.3 | 0.03 | |
| 12.8.2013 | 18.96 | 10:48 | 24 | 432 | 54.0 | 0.9 | 25.1 | 0.04 | Empezó a llover a las 13:20 h y a escurrir a las 10:48 h |
| 13.8.2013 | 89.78 | 16:12 | 192 | 2,533 | 2251.1 | 39.0 | 81.9 | 0.48 | |
| 15.8.2013 | 133.02 | 19:48 | 1,453 | 2,816 | 2550.6 | 44.2 | 132.0 | 0.33 | Se sumó la lluvia de 3 días 15, 16 y 17 |
| 18.8.2013 | 13.19 | 16:03 | 24 | 906 | 135.0 | 2.3 | 26.0 | 0.09 | |
| 22.8.2013 | 20.25 | 16:06 | 42 | 642 | 100.7 | 1.7 | 49.8 | 0.04 | |
| 23.8.2013 | 27.37 | 19:12 | 49 | 289 | 54.9 | 1.0 | 34.1 | 0.03 | |
| 24.8.2013 | 5.48 | 15:36 | 24 | 174 | 11.7 | 0.2 | 8.7 | 0.02 | |
| 25.8.2013 | 67.84 | 13:12 | 24 | 930 | 373.7 | 6.5 | 39.7 | 0.16 | |
| 29.8.2013 | 81.15 | 19:42 | 18 | 515 | 150.4 | 2.6 | 40.7 | 0.06 | |
| 30.8.2013 | 32.19 | 18:42 | 43 | 1,351 | 370.4 | 6.4 | 41.3 | 0.16 | |
| Media | 40.14 | | 148 | 876 | 473.9 | 8.2 | 42.5 | 0.11 | |
| Máximo | 133.02 | | 1,453 | 2,816 | 2550.6 | 44.2 | 132.0 | 0.48 | |
| Mínimo | 1.05 | | 1 | 73 | 3.8 | 0.1 | 8.7 | 0.01 | |

Cuadro 67: Pichucalco 02 Chapultenango septiembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--|
| 1.9.2013 | 0.51 | 9:24 | 1 | 37 | 0.6 | 0.0 | 2.3 | 0.00 | La lluvia inició a las 15:07 h |
| 4.9.2013 | 0.30 | 20:06 | 30 | 84 | 0.7 | 0.0 | 9.6 | 0.00 | |
| 5.9.2013 | 28.93 | 16:24 | 1,470 | 1,542 | 370.2 | 6.4 | 59.0 | 0.11 | |
| 8.9.2013 | 3.65 | 12:12 | 18 | 60 | 6.2 | 0.1 | 10.4 | 0.01 | |
| 8.9.2013 | 0.76 | 20:42 | 114 | 192 | 3.4 | 0.1 | 14.7 | 0.00 | |
| 10.9.2013 | 156.29 | 16:39 | 186 | 2,449 | 2140.5 | 37.1 | 64.4 | 0.58 | |
| 17.9.2013 | 17.72 | 11:18 | 162 | 1,651 | 153.0 | 2.7 | 51.8 | 0.05 | La lluvia inició a las 13:48 h, pero la mayor parte del evento es congruente |
| 19.9.2013 | 0.51 | 15:00 | 12 | 72 | 1.1 | 0.0 | 44.5 | 0.00 | |
| 20.9.2013 | 6.90 | 17:18 | 270 | 1,165 | 114.5 | 2.0 | 3.2 | 0.62 | La lluvia comenzó a las 19:23 |
| 24.9.2013 | 0.51 | 21:12 | 66 | 234 | 3.1 | 0.1 | 6.8 | 0.01 | |
| Media | 21.61 | | 233 | 749 | 279.3 | 4.8 | 26.7 | 0.14 | |
| Máximo | 156.29 | | 1,470 | 2,449 | 2140.5 | 37.1 | 64.4 | 0.62 | |
| Mínimo | 0.30 | | 1 | 37 | 0.6 | 0.0 | 2.3 | 0.00 | |

Cuadro 68: Pichucalco 02 Chapultenango octubre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|
| 4.10.2013 | 1.05 | 16:58 | 36 | 204 | 4.3 | 0.1 | 11.6 | 0.01 | |
| 6.10.2013 | 177.35 | 19:22 | 1,492 | 2,686 | 4039.8 | 70.0 | 268.3 | 0.26 | Se sumó la lluvia del 7 y 8 |
| 10.10.2013 | 0.76 | 19:22 | 48 | 222 | 4.5 | 0.1 | 19.7 | 0.00 | |
| 13.10.2013 | 17.72 | 20:34 | 552 | 1,152 | 105.8 | 1.8 | 47.8 | 0.04 | |
| 17.10.2013 | 0.30 | 21:39 | 60 | 192 | 1.5 | 0.0 | 3.7 | 0.01 | |
| 19.10.2013 | 25.85 | 14:12 | 492 | 1,969 | 325.3 | 5.6 | 53.8 | 0.10 | |
| 21.10.2013 | 0.76 | 15:30 | 79 | 169 | 1.9 | 0.0 | 7.1 | 0.00 | |
| 22.10.2013 | 5.48 | 14:06 | 457 | 1,141 | 66.6 | 1.2 | 39.6 | 0.03 | |
| 23.10.2013 | 8.49 | 12:21 | 552 | 3,024 | 717.6 | 12.4 | 94.7 | 0.13 | |
| 25.10.2013 | 4.83 | 18:55 | 300 | 720 | 53.3 | 0.9 | 47.7 | 0.02 | |
| 27.10.2013 | 0.76 | 15:07 | 186 | 684 | 8.7 | 0.2 | 23.3 | 0.01 | |
| 28.10.2013 | 190.72 | 18:19 | 258 | 1,375 | 983.9 | 17.1 | 80.9 | 0.21 | |
| Media | 36.17 | | 376 | 1,128 | 526.1 | 9.1 | 58.2 | 0.07 | |
| Máximo | 190.72 | | 1,492 | 3,024 | 4039.8 | 70.0 | 268.3 | 0.26 | |
| Mínimo | 0.30 | | 36 | 169 | 1.5 | 0.0 | 3.7 | 0.00 | |

Cuadro 69: Pichucalco 02 Chapultenango noviembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------|
| 2.11.2013 | 58.14 | 8:33 | 564 | 864 | 171.4 | 3.0 | 38.7 | 0.08 | |
| 3.11.2013 | 181.74 | 0:03 | 140 | 2,516 | 2042.2 | 35.4 | 83.7 | 0.42 | |
| 6.11.2013 | 45.12 | 13:00 | 1,009 | 2,257 | 874.2 | 15.2 | 102.7 | 0.15 | Se sumó la lluvia del 7 |
| 8.11.2013 | 168.74 | 1:48 | 278 | 3,171 | 5602.2 | 97.1 | 188.3 | 0.52 | Se sumó la lluvia del 9 |
| 10.11.2013 | 39.29 | 20:18 | 271 | 2,779 | 1139.8 | 19.8 | 49.6 | 0.40 | |
| 13.11.2013 | 105.28 | 16:42 | 7 | 3,073 | 1480.4 | 25.7 | 80.3 | 0.32 | |
| 18.11.2013 | 9.34 | 17:42 | 155 | 1,302 | 77.0 | 1.3 | 38.3 | 0.03 | |
| 19.11.2013 | 0.51 | 19:00 | 13 | 949 | 9.5 | 0.2 | 3.9 | 0.04 | |
| 23.11.2013 | 5.48 | 10:03 | 438 | 936 | 59.5 | 1.0 | 37.1 | 0.03 | |
| 24.11.2013 | 47.17 | 1:51 | 1,175 | 2,904 | 2423.6 | 42.0 | 137.1 | 0.31 | Se sumó la lluvia del 25 |
| Media | 66.08 | | 405 | 2,075 | 1388.0 | 24.1 | 76.0 | 0.23 | |
| Máximo | 181.74 | | 1,175 | 3,171 | 5602.2 | 97.1 | 188.3 | 0.52 | |
| Mínimo | 0.51 | | 7 | 864 | 9.5 | 0.2 | 3.9 | 0.03 | |

Cuadro 70: Pichucalco 02 Chapultenango diciembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|----------------------------------|
| 7.12.2013 | 16.52 | 8:09 | 126 | 2,024 | 267.3 | 4.6 | 68.0 | 0.07 | |
| 12.12.2013 | 152.26 | 1:21 | 432 | 2,347 | 2933.7 | 50.8 | 156.6 | 0.32 | |
| 13.12.2013 | 7.67 | 16:39 | 31 | 1,201 | 286.4 | 5.0 | 8.7 | 0.57 | |
| 15.12.2013 | 350.27 | 1:12 | 375 | 2,520 | 7474.9 | 129.5 | | | Se trabajó el pluviógrafo |
| 25.12.2013 | 73.00 | 9:24 | 427 | 2,620 | 1167.7 | 20.2 | | | Se acabó la pila del pluviógrafo |
| 29.12.2013 | 58.14 | 6:48 | 354 | 2,258 | 628.0 | 10.9 | | | Se acabó la pila del pluviógrafo |
| 31.12.2013 | 92.77 | 8:48 | 291 | 1,444 | 901.5 | 15.6 | | | Se acabó la pila del pluviógrafo |
| Media | 107.23 | | 291 | 2,059 | 1951.4 | 33.8 | 77.8 | 0.32 | |
| Máximo | 350.27 | | 432 | 2,620 | 7474.9 | 129.5 | 156.6 | 0.57 | |
| Mínimo | 7.67 | | 31 | 1,201 | 267.3 | 4.6 | 8.7 | 0.07 | |

7.5.2 Microcuenca 09

Cuadro 71: El Platanar 09 Sunuapa mayo 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|
| 12.5.2013 | 22.96 | 17:30 | 49 | 169 | 77.3 | 1.6 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 14.5.2013 | 3.65 | 0:18 | 6 | 373 | 4.7 | 0.1 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 25.5.2013 | 0.30 | 18:57 | 18 | 96 | 0.7 | 0.0 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 26.5.2013 | 2.17 | 18:33 | 24 | 157 | 3.9 | 0.1 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 31.5.2013 | 0.76 | 19:00 | 6 | 144 | 1.2 | 0.0 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| Media | 5.97 | | 21 | 188 | 17.6 | 0.4 | | - | |
| Máximo | 22.96 | | 49 | 373 | 77.3 | 1.6 | | - | |
| Mínimo | 0.30 | | 6 | 96 | 0.7 | 0.0 | | - | |

Cuadro 72: El Platanar 09 Sunuapa junio 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1.6.2013 | 148.30 | 18:30 | 166 | 593 | 611.9 | 12.9 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 2.6.2013 | 186.20 | 11:30 | 601 | 2,763 | 1424.1 | 29.9 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 4.6.2013 | 0.00 | 20:30 | 0 | 888 | 0.0 | 0.0 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 4.6.2013 | 181.74 | 17:30 | 84 | 1,590 | 2647.7 | 55.6 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 5.6.2013 | 7.67 | 20:27 | 46 | 1,246 | 310.0 | 6.5 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 13.6.2013 | 0.76 | 19:24 | 45 | 156 | 3.0 | 0.1 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 21.6.2013 | 4.83 | 18:00 | 33 | 450 | 28.7 | 0.6 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 22.6.2013 | 73.00 | 19:12 | 24 | 2,622 | 406.7 | 8.5 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 24.6.2013 | 3.11 | 22:00 | 78 | 372 | 17.0 | 0.4 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 30.6.2013 | 28.93 | 19:12 | 12 | 504 | 44.0 | 0.9 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 1.7.2013 | 27.37 | 17:24 | 12 | 48 | 38.4 | 0.8 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| Media | 60.17 | | 100 | 1,021 | 502.9 | 10.6 | | - | |
| Máximo | 186.20 | | 601 | 2,763 | 2647.7 | 55.6 | | - | |
| Mínimo | 0.00 | | 0 | 48 | 0.0 | 0.0 | | - | |

Cuadro 73: El Platanar 09 Sunuapa julio 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------|
| 2.7.2013 | 4.22 | 17:24 | 252 | 1,110 | 30.1 | 0.6 | 26.4 | 0.02 | |
| 3.7.2013 | 30.54 | 18:24 | 132 | 1,698 | 497.1 | 10.4 | 47.3 | 0.22 | |
| 10.7.2013 | 55.84 | 20:00 | 42 | 1,596 | 211.2 | 4.4 | 50.4 | 0.09 | |
| 13.7.2013 | 30.54 | 18:45 | 250 | 1,609 | 465.7 | 9.8 | 60.1 | 0.16 | |
| 20.7.2013 | 17.72 | 18:21 | 84 | 276 | 58.5 | 1.2 | 33.7 | 0.04 | |
| 21.7.2013 | 13.19 | 16:57 | 1 | 325 | 20.8 | 0.4 | 14.5 | 0.03 | |
| 24.7.2013 | 0.76 | 18:21 | 9 | 33 | 0.8 | 0.0 | 6.5 | 0.00 | |
| Media | 21.83 | | 110 | 950 | 183.4 | 3.9 | 34.1 | 0.08 | |
| Máximo | 55.84 | | 252 | 1,698 | 497.1 | 10.4 | 60.1 | 0.22 | |
| Mínimo | 0.76 | | 1 | 33 | 0.8 | 0.0 | 6.5 | 0.00 | |

Cuadro 74: El Platanar 09 Sunuapa agosto 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|--|
| 1.8.2013 | 6.17 | 21:35 | 12 | 180 | 12.9 | 0.3 | 18.2 | 0.01 | |
| 2.8.2013 | 1.76 | 21:04 | 12 | 96 | 2.0 | 0.0 | 17.9 | 0.00 | |
| 9.8.2013 | 3.11 | 15:15 | 6 | 102 | 3.5 | 0.1 | 18.2 | 0.00 | |
| 13.8.2013 | 98.91 | 20:00 | 12 | 966 | 385.9 | 8.1 | 76.0 | 0.11 | |
| 14.8.2013 | 81.15 | 19:54 | 18 | 2,178 | 783.6 | 16.5 | 96.3 | 0.17 | El escurrimiento registrado incluye la precipitación del 14 y 15 |
| 16.8.2013 | 6.17 | 16:20 | 82 | 265 | 25.6 | 0.5 | 25.5 | 0.02 | |
| 17.8.2013 | 58.14 | 3:18 | 15 | 738 | 242.7 | 5.1 | 54.9 | 0.09 | |
| Media | 36.49 | | 22 | 646 | 208.0 | 4.4 | 43.9 | 0.06 | |
| Máximo | 98.91 | | 82 | 2,178 | 783.6 | 16.5 | 96.3 | 0.17 | |
| Mínimo | 1.76 | | 6 | 96 | 2.0 | 0.0 | 17.9 | 0.00 | |

Cuadro 75: El Platanar 09 Sunuapa septiembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m ³) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---------------|
| 2.9.2013 | 108.55 | 14:02 | 30 | 2,515 | 1849.7 | 38.9 | 115.2 | 0.34 | |
| 5.9.2013 | 41.19 | 11:00 | 567 | 2,157 | 740.7 | 15.6 | 81.5 | 0.19 | |
| 7.9.2013 | 0.51 | 18:30 | 24 | 54 | 0.8 | 0.0 | 10.2 | 0.00 | |
| 8.9.2013 | 502.60 | 15:06 | 396 | 1,135 | 1918.0 | 40.3 | 138.4 | 0.29 | |
| 11.9.2013 | 156.29 | 14:27 | 30 | 723 | 415.5 | 8.7 | 41.9 | 0.21 | |
| 17.9.2013 | 27.37 | 20:21 | 24 | 384 | 70.3 | 1.5 | 39.6 | 0.04 | |
| 18.9.2013 | 37.44 | 18:45 | 48 | 216 | 114.8 | 2.4 | 18.3 | 0.13 | |
| 27.9.2013 | 0.76 | 17:39 | 36 | 84 | 1.9 | 0.0 | 12.1 | 0.00 | |
| Media | 109.34 | | 144 | 909 | 639.0 | 13.4 | 57.2 | 0.15 | |
| Máximo | 502.60 | | 567 | 2,515 | 1918.0 | 40.3 | 138.4 | 0.34 | |
| Mínimo | 0.51 | | 24 | 54 | 0.8 | 0.0 | 10.2 | 0.00 | |

Cuadro 76: El Platanar 09 Sunuapa octubre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m^3) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------------|
| 3.10.2013 | 160.38 | 19:42 | 217 | 1,129 | 819.0 | 17.2 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 7.10.2013 | 1.39 | 23:06 | 493 | 558 | 7.4 | 0.2 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 8.10.2013 | 33.89 | 16:12 | 156 | 1,494 | 498.1 | 10.5 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 22.10.2013 | 181.74 | 16:27 | 73 | 2,893 | 2358.4 | 49.5 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 25.10.2013 | 5.48 | 20:09 | 282 | 420 | 25.7 | 0.5 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 26.10.2013 | 1.39 | 15:33 | 612 | 865 | 4.0 | 0.1 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 27.10.2013 | 41.19 | 17:27 | 24 | 2,289 | 490.8 | 10.3 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| Media | 60.78 | | 265 | 1,378 | 600.5 | 12.6 | | | |
| Máximo | 181.74 | | 612 | 2,893 | 2358.4 | 49.5 | | | |
| Mínimo | 1.39 | | 24 | 420 | 4.0 | 0.1 | | | |

Cuadro 77: El Platanar 09 Sunuapa noviembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m^3) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---|
| 2.11.2013 | 9.34 | 17:36 | 566 | 1,527 | 152.0 | 3.2 | 60.4 | 0.05 | |
| 7.11.2013 | 190.72 | 2:33 | 72 | 687 | 2140.4 | 45.0 | 124.5 | 0.36 | |
| 9.11.2013 | 181.74 | 18:12 | 1,338 | 2,589 | 2110.2 | 44.3 | 157.4 | 0.28 | El escurrimiento registrado incluye la precipitación del 10 |
| 12.11.2013 | 186.20 | 16:39 | 445 | 2,924 | 3948.5 | 83.0 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 24.11.2013 | 24.38 | 11:09 | 1 | 158 | 68.9 | 1.4 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 26.11.2013 | 30.54 | 16:36 | 590 | 2,565 | 1304.3 | 27.4 | 108.4 | 0.25 | |
| Media | 103.82 | | 502 | 1,742 | 1620.7 | 34.0 | 112.7 | 0.24 | |
| Máximo | 190.72 | | 1,338 | 2,924 | 3948.5 | 83.0 | 157.4 | 0.36 | |
| Mínimo | 9.34 | | 1 | 158 | 68.9 | 1.4 | 60.4 | 0.05 | |

Cuadro 78: El Platanar 09 Sunuapa diciembre 2013.

| Fecha (día/mes/ año) | Gasto máx. (l/s) | Hora inicio (h:min) | Tiempo pico (min) | Tiempo total (min) | Vol. esc. (m^3) | Lám. esc. (mm) | Lám. prec. (mm) | Coef. de esc. | Observaciones |
|----------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|---|
| 4.12.2013 | 14.25 | 11:51 | 54 | 361 | 46.7 | 1.0 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 7.12.2013 | 17.72 | 9:12 | 1 | 737 | 96.4 | 2.0 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 8.12.2013 | 16.52 | 8:12 | 336 | 696 | 75.9 | 1.6 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 14.12.2013 | 5.48 | 17:12 | 727 | 860 | 57.5 | 1.2 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 18.12.2013 | 33.89 | 12:12 | 1,260 | 1,266 | 128.1 | 2.7 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 19.12.2013 | 0.00 | 11:30 | 0 | 2,994 | 0.0 | 0.0 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 23.12.2013 | 105.28 | 10:54 | 676 | 2,572 | 2457.8 | 51.6 | 224.5 | 0.23 | El escurrimiento registrado incluye la precipitación del 24 |
| 26.12.2013 | 1.39 | 11:18 | 288 | 696 | 24.5 | 0.5 | | | No hay datos de pluviógrafo |
| 27.12.2013 | 39.29 | 7:48 | 402 | 1,488 | 610.6 | 12.8 | 23.9 | 0.54 | |
| 30.12.2013 | 21.58 | 16:54 | 150 | 859 | 332.4 | 7.0 | 30.0 | 0.23 | |
| Media | 25.54 | | 389 | 1,253 | 383.0 | 8.0 | 92.8 | 0.33 | |
| Máximo | 105.28 | | 1,260 | 2,994 | 2457.8 | 51.6 | 224.5 | 0.54 | |
| Mínimo | 0.00 | | 0 | 361 | 0.0 | 0.0 | 23.9 | 0.23 | |

8 Referencias

- Aranda, D. F. C. (1984). *Procesos del ciclo hidrológico*. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. ISBN 9789686194449.
- Bable, L. V. y Karssenberg, D. (2013). Hydrological models are mediating models. *Hydrology and Earth System Sciences*, , 10, 10535–10563, 2013.
- Bisri, M., Othman, F. y Sholichin, M. (2008). Determination of Runoff Value Using Kineros Model. *International Conference on Constuction and Building Technology*, D, 15, 157–168.
- Brakensiek, D. L., Osborn, H. B. y Rawls, W. J. (1979). *Field Manual for Research in Agricultural Hydrology*. United States Department of Agriculture, Washington, D.C. 20402. Agriculture Handbook No. 224.
- Brooks, K. N., Ffolliott, P. F., Gregersen, H. M. y DeBano, L. F. (2003). *Hydrology and the Management of Watersheds*. Iowa State Press. A Blackwell Publishing Company, third edition edici
- Burns, I. S. (2010). *Reducing Uncertainty in Hydrological Modeling: A Step-Wise Multi-Scale Calibration Approach*. Proyecto Fin de Carrera, The University of Arizona.
- Chow, V. T., Maidment, D. R. y Mays, L. W. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw-hill Interamericana S.A., traducido de la primera edición en inglés de applied hydrology ediciISBN 958-600-171-7.
- CONAGUA (2009). Restauración hidrológica-ambiental de la parte media y alta de la cuenca del Río Pichualco, comprendida entre los estados de Tabasco y Chiapas. Informe final del Convenio de colaboración No. SGIH-GD TT-UACH-09/03/RF/CC.
- CONAGUA (2012). Instalación y operación de un sistema de monitoreo de procesos hidrológicos erosivos en sitios representativos de las cuencas de los ríos La Sierra, Pichualco, Platanar y Teapa; comprendidas entre los estados de Tabasco y Chiapas. Informe final del Convenio de colaboración No. SGIH-GD TT-UACH-12/04/RF/CC.
- Dingman, S. L. (2002). *Physical Hydrology*. Prentice Hall, segunda ediciISBN 9780130996954.

- FAO (2009). *Guía para la Descripción de Suelos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma, Italia.
- Goodrich, D. C., Burns, I. S., Unkrich, C. L., Semmens, D. J., Guertin, D. P., Hernandez, M., Yatheendradas, S., Kennedy, J. R. y Levick, L. R. (2012). KINEROS2/AGWA: Model use, calibration and validation. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55, 4, 1561–1574.
- Haan, C., Johnson, H. y Brakensiek, D. (1982). *Hydrologic Modeling of Small Watersheds*. American Society of Agricultural Engineers, first edition edici
- Han, S., Xu, D. y Wang, S. (2012). Runoff formation from experimental plot, field, to small catchment scales in agricultural North Huaihe River Plain, China. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16, 3115, 3115 – 3125.
- INEGI (2013). Uso del suelo y vegetación escala 1:250 000 Serie V. Recuperado de: <http://www.inegi.org.mx/geo/contenidos/reclnat/ususuelo/>.
- Jararmizadeh, M., Harun, S. y Salarpour, M. (2012). A review on Theoretical Consideration and Types of Models in Hydrology. *Journal of Environmental Science and Technology*, 5, 5, 249–261.
- Magrin, G. O., García, C. G., Choque, D. C., Giménez, J. C., Moreno, A. R., Nagy, G. J., Nobre, C. y Villamizar, A. (2007). Latin America. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. *Cabridge, UK*, 581–615.
- Magrin, G. O., Marengo, J. A., Boulanger, J. P., Buckeridge, M. S., Castellanos, E., Poveda, G., Scarano, F. R. y Vicuña, S. (2014). 2014: Central and South America. In: Climate Chage 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part B: Regional Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Chage. *Cabridge, UK and New York, USA*, 1499–1566.
- Massart, J., Guertin, P., Smith, R., Goodrich, D., Unkrich, C. y Levick, L. (2010). K2-02(KINEROS-Opus) Spatially based watershed hidrologic and biogeochemical model. *Joint Federal Interagency Conference*, Las Vegas NV, June27 - July 1, 1–12.
- Memarian, H., Balasundram, S. K., Talib, J., Sung, C. T. B., Sood, A. M., Abbaspour, K. C. y Haghizadeh, A. (2012). Hydrologic Analysis of a Tropical Watershed using KINEROS2. *EnvironmentAsia The international journal published by the Thai Society of Higher Education Institutes on Environment*, 5(1), 5(1)(2012)(84-93), 84–93.

- Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Liew, M. W. V., Bingner, R. L., Harmel, R. D. y Veith, T. L. (2007). Model Evaluation Guidelines for Systematic Quantification of Accuracy in Watershed Simulations. *American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 50, 3, 885–900.
- Nash, J. E. y Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models: part 1. A discussion of principles. *Journal of Hydrology*, 10, 3, 282–290.
- Refsgaard, J. C. (2007). *Hydrological modelling and river basin management*. Tesis Doctoral, Danish Ministry of the Environment.
- Ruiz, J. M. E. (2008). *Aplicación de modelos hidrológicos con fines de prevención de desastres en cuencas de Venezuela*. Proyecto Fin de Carrera, Universidad de los Andes.
- Smith, R. E., Smettem, K. R. J., Broadbridge, P. y Woolhiser, D. A. (2002). *Infiltration Theory for Hydrologic Applications*. American Geophysical Union. Washington, DC, primera edici ISBN 0-87590-319-3.
- Sotelo, A. G. (2002). *Hidráulica de canales*. UNAM, Facultad de Ingeniería, primera edici ISBN ISABN-968-36-9433-0.
- Vázquez, M. T. (2012). *Calibración del modelo integrado de base física KINEROS en una cuenca semi-instrumentada del trópico húmedo mexicano*. Tesis Doctoral, Colegio de Postgraduados.
- Wallace, J. y Mc.Jannet, D. (2012). Climate change impacts on the water balance of costal and montane rainforests in northern Queensland, Australia. *Journal of Hydrology*, , 475, 84–96.
- Woolhiser, D. A., Smith, R. E. y Goodrich, D. C. (1990). *A Kinematic Runoff and Erosion Model: Documentation and User Manual*. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, ars-77 edici
- WRB (2007). *Base Referencial Mundial del Recurso Suelo. Primera actualización 2007*. Informes sobre Recursos Mundiales de Suelos No. 103. FAO, Roma.
- Xu, C. Y. (2002). *Text book of hydrologic models*. Uppsala University Department of Earth Science Hydrology, 2002^a edici